



**TUGAS AKHIR - TM 141585**

**STUDI KOMPARASI WICKING HEIGHT, WICKING  
RATE, DAN ACID ABSORPTION MEASUREMENT  
PADA SPESIMEN ABSORPTIVE GLASS MAT (AGM)  
VALVE-REGULATED LEAD ACID BATTERY**

**ADRIAN BAYU BAGASKARA**  
NRP 2113 100 174

Dosen Pembimbing  
Ir. W I T A N T Y O, M.Eng.Sc

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2017





**FINAL PROJECT - TM 141585**

**COMPARATIVE STUDY OF WICKING HEIGHT,  
WICKING RATE, AND ACID ABSORPTION  
MEASUREMENT IN ABSORPTIVE GLASS MAT  
(AGM) SPECIMENS ON A VALVE-REGULATED  
LEAD ACID BATTERY**

**ADRIAN BAYU BAGASKARA  
NRP 2113 100 174**

Advisor  
**Ir. W I T A N T Y O, M.Eng.Sc**

**DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING  
FACULTY OF INDUSTRIAL ENGINEERING  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA 2017**





**STUDI KOMPARASI *WICKING HEIGHT*, *WICKING RATE*,  
DAN *ACID ABSORPTION MEASUREMENT* PADA  
SPESIMEN *ABSORPTIVE GLASS MAT (AGM) VALVE-  
REGULATED LEAD ACID BATTERY***

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada

Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**ADRIAN BAYU BAGASKARA**

NRP. 2113 100 174

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ir. Witantyo, M.Eng.Sc  
NIP. 196303141988031002 (Pembimbing)
2. Ari Kurniawan Saputra, ST, MT  
NIP. 198604012015041001 (Penguji I)
3. Dinny Harnany, ST, MSc  
NIP. 2100201405001 (Penguji II)
4. Wahyu Wijanarko, ST, MSc  
NIP. 198202092012121001 (Penguji III)



**SURABAYA**

**JULI, 2017**







# **STUDI KOMPARASI WICKING HEIGHT, WICKING RATE, DAN ACID ABSORPTION MEASUREMENT PADA SPESIMEN ABSORPTIVE GLASS MAT (AGM) VALVE-REGULATED LEAD ACID BATTERY**

**Nama Mahasiswa** : Adrian Bayu Bagaskara  
**NRP** : 2113100174  
**Jurusan** : Teknik Mesin FTI-ITS  
**Dosen Pembimbing** : Ir. Witantyo, M.Eng.Sc.

## **Abstrak**

*Absorptive Glass Mat (AGM) sering ditemukan pada penggunaan Valve-Regulated Lead Acid Battery (VRLAB) atau yang biasa kita sebut dengan aki kering. Tujuan AGM digunakan untuk mereduksi dekomposisi air pada closed oxygen cycle sehingga dapat mengurangi water loss disaat mengisi maupun kelebihan pengisian baterai. Water loss terjadi akibat gradien konsentrasi asam akan terjadi pada VRLA dengan AGM dengan besar pori tertentu yang memiliki tingkat pergerakan elektrolit yang terlalu tinggi. Selain itu, efektifitas performa discharge dan recharge dari aki kering bergantung pada distribusi elektrolit dan tingkat kejenuhan penyerapan elektrolit yang baik oleh separator AGM yang jika kedua hal tidak terpenuhi akan menyebabkan pembentukan masa aktif yang tidak sama (non-uniform), korosi lokal semakin parah, dan akibatnya adalah pengurangan siklus hidup sel-sel pada aki. Selain mempengaruhi reaksi yang terjadi pada aki, pada proses manufaktur, produsen aki harus menunggu elektrolit menyebar dengan rata di AGM setelah filling sebelum memasuki proses selanjutnya yang mengakibatkan penurunan kecepatan produksi dari baterai tersebut.*

*Penelitian ini diawali dengan identifikasi dari AGM yang akan diuji cobakan, dengan mempelajari struktur dan sifat yang ada pada AGM yang akan diteliti. Setelah itu sifat dari pemisah AGM yang akan diidentifikasi adalah ketebalan, diameter pori serat, grammage, dan density. Data-data ini didapatkan dari*

*distributor AGM. Kemudian mempelajari literatur-literatur yang berhubungan dengan percobaan serupa dan membuat identifikasi data-data melalui studi literatur. Setelah diketahui data-data sifat AGM yang akan diujikan, dilanjutkan dengan pengujian wicking rate measurement yaitu dengan menahan spesimen secara vertikal menggunakan akrilik, lalu ditaruh di bak berisi cairan elektrolit. Didapatkan data ketinggian cairan terhadap waktu dan besarnya penyerapan elektrolit dari percobaan, lalu dilakukan analisa data dengan membandingkan pengaruh sifat dengan eksperimen yang dilakukan, yang kemudian dapat diambil kesimpulan dan saran dari hasil penelitian.*

*Hasil dari eksperimen menunjukan kecenderungan wicking height lebih besar dengan variabel kompresi 10-50 kPa pada AGM A, yang kedua adalah C, dan yang terakhir adalah B sebesar 57, 54, dan 50 pada posisi detik ke 60. Terjadi kecenderungan penurunan pada detik ke-3300 sehingga posisi wicking height setelah detik tersebut berubah, menjadi B, C, lalu A dengan nilai rata-rata setelah 3600 detik sebesar 285,4 untuk B, 281,8 untuk C, dan 277,4 untuk A. wicking rate paling tinggi adalah A sebesar 57 mm/min, lalu C sebesar 54 mm/min, dan terakhir B sebesar 50 mm/min pada detik 60 dengan kompresi 10 kPa. Perbandingan Acid Absorption dari eksperimen menunjukan perbedaan dengan penyerapan terbesar pada 10 kPa untuk AGM A sebesar 8,9616 gr/gr dan yang terkecil adalah AGM B pada 50 kPa dengan besar 6,0218 gr/gr.*

***Kata kunci :Valve Regulated Lead-Acid Battery, Aki, Absorptive Glass Mat, Wetting, Wicking height, Wicking Rate, Acid Absorption.***

**COMPARATIVE STUDY OF WICKING HEIGHT,  
WICKING RATE, AND ACID ABSORPTION  
MEASUREMENT IN ABSORPTIVE GLASS MAT (AGM)  
SPECIMENS ON A VALVE-REGULATED LEAD ACID  
BATTERY**

**Name** : Adrian Bayu Bagaskara  
**NRP** : 2113100174  
**Major** : Teknik Mesin FTI-ITS  
**Advisor** : Ir. Witantyo, M.Eng.Sc.

**Abstract**

*Absorptive Glass Mat (AGM) is often found in the use of Valve-Regulated Lead Acid Battery (VRLAB) or what we call the dry battery. The purpose of AGM is to reduce water decomposition in closed oxygen cycle so as to reduce water loss when filling and excess battery charging. Water loss occurs due to the acid concentration gradient will occur in VRLA with AGM with a certain pore size which has an overly high electrolyte movement rate. In addition, the effectiveness of the discharge and recharge performance of the dry battery depends on the electrolyte distribution and the good electrolyte absorption saturation level by the AGM separator which if both unfulfilled causes non-uniform (non-uniform) lifting, local corrosion is more severe, and consequently is a reduction in the life cycle of cells in the battery. In addition to affecting the reaction that occurs in the battery, in the manufacturing process, the battery manufacturer must wait for the electrolyte to spread flat on the AGM after filling before entering the next process which resulted in decreased production speed of the battery.*

*This study begins with the identification of the AGM to be tested, by studying the structure and properties of the AGM to be studied. After that the properties of the AGM separator to be identified are the thickness, pore diameter of the fiber, grammage,*

*and density. These data are obtained from the AGM distributor. Then study the literature related to similar experiments and make identification of data through literature studies. Once known the data properties of AGM to be tested, followed by testing wicking rate measurement is to hold the specimen vertically using acrylic, then placed in a tub filled with electrolyte liquid. Obtained fluid level data on time and the amount of electrolyte absorption from the experiment, then conducted data analysis by comparing the effect of the nature with experiments conducted, which then can be drawn conclusions and suggestions from the results of research.*

*The results of the experiment showed a greater tendency of wicking height with a 10-50 kPa compression variable at AGM A, the second being C, and the last being B at 57, 54, and 50 at the 60 second position. at the position of wicking height after the second changed, to B, C, then A with an average value after 3600 seconds of 285.4 for B, 281.8 for C, and 277.4 for A. wicking rate is highest A of 57 mm / min, then C of 54 mm / min, and last B of 50 mm / min at 60 seconds with 10 kPa compression. Comparison of Acid Absorption from experiment showed difference with highest absorption at 10 kPa for AGM A of 8,9616 gr / gr and the smallest was AGM B at 50 kPa with value of 6,0218 gr / gr.*

***Keywords: Valve Regulated Lead-Acid Battery, Battery, Absorptive Glass Mat, Wetting, Wicking height, Wicking Rate, Acid Absorption***

## KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang senantiasa memberikan rahmat, hidayah, dan kasih sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul: **STUDI KOMPARASI *WICKING HEIGHT, WICKING RATE, DAN ACID ABSORPTION MEASUREMENT* PADA SPESIMEN *ABSORPTIVE GLASS MAT (AGM) VALVE-REGULATED LEAD ACID BATTERY***. Pada Kesempatan ini penulis bermaksud mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada :

1. Ayah saya, **Agus Wondo Cahyono** yang membuat saya tertarik memasuki jurusan ini, dan berharap dapat bertemu kembali di lain waktu. dan ibu saya **Mili Winarti** yang senantiasa memberikan segala da, restu, kasih sayang, dan pengorbanan kepada penulis.
2. Kakak dan Adik tercinta, **Julian Hanggara Adiguna** dan **Zulfan Rinaldi Aditama** yang senantiasa menyemangati penulis dalam mengerjakan tugas akhir ini.
3. **Ir. Witantyo, M. Eng. Sc** selaku dosen pembimbing tugas akhir ini. Terima kasih untuk semua waktu, kritik, saran, dan motivasi yang diberikan ditengah-tengah kesibukan bapak.
4. **Ari Kurniawan Saputra, S.T, M.T, Dinny Harnany, S.T, M.Sc, dan Wahyu Wijanarko S.T, M.Sc.** selaku dosen penguji tugas akhir. Terima kasih atas nasehat, saran, dan waktu yang telah diberikan untuk tugas akhir ini.
5. **Dr.Ir. Atok Setiyawan, M. Eng. Sc,** Selaku dosen wali penulis. Terima kasih atas bimbingan dan arahan bapak dalam mengambil mata kuliah selama masa perkuliahan penulis hingga menyelesaikan kuliah jenjang S-1.
6. **Keluarga Besar Teknik Mesin S-1 angkatan 2013 M56** yang senantiasa solid dan kompak, selalu menyemangati dan mengingatkan penulis untuk senantiasa mengerjakan tugas akhir.

7. Teman Seperjuangan, **Wicak, Fridam, Fachri, Bima, Faris, Anggi, Bram, Rexa, Rivaldi, Nyoman, Yudhis, Fahmi, dan Rizqu** yang selalu mengingatkan penulis mengerjakan tugas akhir, lupa berkumpul kembali di lain waktu.
8. Seluruh teman-teman **Mesin Music Club** yang selalu mengingatkan dan banyak sekali mengajarkan saya banyak hal.
9. **M-Cangkir** yang senantiasa menghibur penulis dan menjadi tempat menghilangkan penat penulis.
10. **Laboratorium Rekayasa Sistem Industri** yang telah menjadi tempat dan teman seperjuangan dalam suka dan duka selama di kampus Teknik Mesin.
11. Mantan-Mantan yang mengingatkan penulis untuk cepat-cepat lulus dan mendapatkan kerja.
12. Semua pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuannya yang tidak bisa disebutkan satu per satu di halaman ini.

Penulis sadar bahwa penulisan tugas akhir ini banyak kekurangan, untuk itu kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi kebaikan dan kesempurnaan tugas akhir ini. Semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xviii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Batasan Masalah .....	5
1.4 Tujuan Penelitian .....	5
1.5 Manfaat Penelitian .....	6
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>7</b>
2.1 Jenis-Jenis Aki .....	7
2.2 Bagian Baterai Aki.....	9
2.3 Valve-regulated Battery .....	11
2.4 <i>Charging</i> dan <i>Discharging</i> Aki .....	14
2.5 Proses pengisian cairan elektrolit ke dalam kontainer aki VRLA .....	16
2.6 <i>Short Circuit</i> .....	18
2.7 <i>Acid Stratification</i> dan Drainase .....	18

2.8 Absorptive Glass Mat (AGM).....	20
2.9 Sifat fisik dari Material AGM .....	26
2.10 Penelitian Terdahulu .....	28
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>33</b>
3.1 Diagram Alir Penelitian .....	33
3.2 Studi Literatur .....	35
3.3 Melakukan Percobaan .....	36
3.3.1 Peralatan dan Bahan yang Digunakan .....	36
3.3.2 Pengujian <i>Wicking Rate Set</i> .....	36
3.4 Analisa Data dan Pembahasan .....	39
3.5 Kesimpulan dan Saran.....	39
<b>BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>41</b>
4.1 Deskripsi Analisa Awal Penelitian.....	41
4.1.1 Data Deskripsi AGM dari Produsen .....	41
4.1.2 Data deskripsi hasil percobaan .....	43
4.2 Analisa Data Percobaan <i>Wicking Measurement</i> .....	45
4.2.1 Mean <i>Wicking height</i> Spesimen AGM .....	45
4.2.2 Mean <i>Wicking rate</i> Spesimen AGM.....	48
4.2.3 Mean <i>Acid Absorption</i> Spesimen AGM .....	50
4.3 Analisa Possibilitas perbedaan <i>Wicking height, Wicking rate, dan Acid Absorption</i> AGM.....	52
4.3.1 Pengaruh efek kompresi terhadap <i>Wicking height, Wicking rate, dan Acid Absorption</i> .....	52



4.3.2 Pengaruh besar diameter Pori terhadap <i>Wicking height</i> , <i>Wicking Rate</i> , dan <i>Acid Absorption</i> .....	53
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>57</b>
5.1 Kesimpulan .....	57
5.2 Saran.....	58
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>59</b>

***(Halaman ini sengaja dikosongkan)***

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1. 1</b> Jumlah Pertumbuhan Kendaraan di Indonesia.[10] ..	2
<b>Gambar 1. 2</b> Data Komplain Kerusakan Aki Sebuah Perusahaan Aki [2] .....	3
<b>Gambar 1. 3</b> Separator AGM yang rusak atau berlubang [2] .....	4
<b>Gambar 2.1</b> Elektroda positif dan negatif. ....	9
<b>Gambar 2.2</b> Struktur pada <i>Aki Valve-regulated</i> . ....	11
<b>Gambar 2.3</b> siklus yang terjadi pada sel aki <i>Valve-regulated</i> [7]. ....	13
<b>Gambar 2.4</b> Skema proses dan diagram aliran elektrolit dengan perbedaan saturasi dari aki dengan separator saat <i>Discharge</i> dan <i>Charge</i> [7]. ....	14
<b>Gambar 2. 5</b> (kiri) aki pada keadaan normal. (kanan) <i>stratified battery</i> . Aki dengan umur tua, dimana penyebaran tidak merata elektrolit akibat perbedaan massa relatif [3] .....	19
<b>Gambar 2. 6</b> <i>Scanning Electron Micrograph</i> (SEM) dari <i>Absorptive glass mat</i> [5].....	21
<b>Gambar 2. 7</b> skema mikrostruktur dari <i>absorptive glass mat</i> (AGM) [5] .....	22

<b>Gambar 2. 8</b> Kurva Ketebalan-Kompresi dari absorptive glass mat (AGM) separator; arah panah menunjukkan penambahan/penurunan tekanan [5].....	23
<b>Gambar 2. 9</b> Set up dari eksperimen <i>wicking rate</i> [8] .....	29
<b>Gambar 2. 10</b> Grafik percobaan AGM dengan perlakuan tekanan, dengan hasil <i>wicking height</i> dan <i>wicking rate</i> untuk dua buah spesimen, (a) dan (b) [8] 30	
<b>Gambar 3. 1</b> Flowchart Penelitian. ....	35
<b>Gambar 3. 2</b> Ilustrasi Alat Pengujian <i>Wicking Rate</i> . ....	37
 <b>Gambar 4.1</b> Besar kompresi versus penurunan persentase ketebalan didapatkan dari distributor. ....	42
<b>Gambar 4.2</b> Mean <i>Wicking height</i> vs waktu (0-3600 detik) ketiga spesimen AGM.....	45
<b>Gambar 4.3</b> Mean <i>Wicking height</i> vs waktu (0-120 detik) ketiga spesimen AGM.....	46
<b>Gambar 4.4</b> Mean <i>Wicking height</i> vs waktu (5-60 menit) ketiga spesimen AGM.....	47
<b>Gambar 4.5</b> Mean <i>Wicking rate</i> vs waktu (0-120 detik) ketiga spesimen AGM.....	48
<b>Gambar 4.6</b> mean <i>wicking rate</i> vs waktu dalam detik .....	49
<b>Gambar 4.7</b> Grafik perbandingan <i>Acid Absorption</i> spesimen uji AGM.....	51

<b>Gambar 4.8</b> Kompresi vs tekanan yang diaplikasikan untuk semua glass separator. Garis titik-titik merupakan titik <i>recovery thickness</i> . .....	53
<b>Gambar 4.9</b> Besar diameter pori pada bidang x, y, dan z .....	54
<b>Gambar 4.10</b> Perbandingan besar pori terhadap kehalusan serat dalam persentase. ....	55
<b>Gambar 4.11</b> Perbandingan kehalusan serat terhadap besar ketinggian per waktu . ....	55

***(Halaman ini sengaja dikosongkan)***

## DAFTAR TABEL

**Tabel 3. 1** besar diameter, panjang serat, dan luas permukaan dengan besar pori, kekuatan tarik dan biaya nya [5]..... 24

**Tabel 4.1** Deskripsi AGM yang didapatkan dari distributor..... 41

**Tabel 4.2** Besar ketebalan spesimen uji AGM pada saat kompresi. .... 42

**Tabel 4.3** Besar *Grammage* dan *Density* dari Eksperimen ..... 44

**Tabel 4.4** Nilai *Acid Absorption* tiga spesimen AGM ..... 50

***(Halaman ini sengaja dikosongkan)***



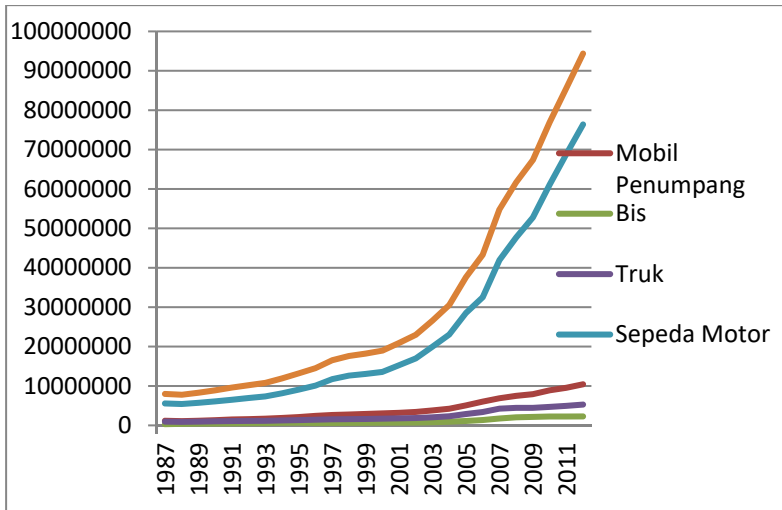
# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

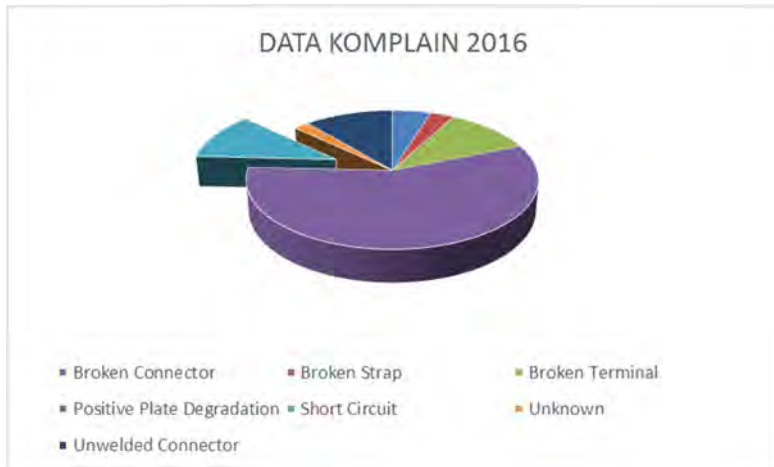
Aki merupakan baterai dengan desain konvensional dan baterai isi ulang yang paling banyak digunakan saat ini yang ditemukan pada tahun 1859 oleh Gaston Planté, seorang ilmuwan fisika dari Prancis dengan menghubungkan 2 buah plat yang disebut elektroda dalam sebuah cairan elektrolit. Aki merupakan media penyimpanan energi listrik dalam bentuk energi hasil dari reaksi kimia. Pertumbuhan teknologi pada aki mendukung semakin bertambahnya aplikasi yang dapat diterapkan menggunakan aki. Aplikasi utama dari aki adalah : baterai untuk *starting* kendaraan bermotor, baterai pencahayaan dan pengapian (baterai SLI), baterai penggerak, dan baterai penyimpanan energi. Aki merupakan salah satu komponen pendukung dalam kendaraan bermotor. Aki juga berfungsi sebagai komponen pencatu daya dalam kendaraan bermotor. [2]

Meningkatnya ilmu pengetahuan dan kebutuhan dari industri otomotif maupun energi terbarukan, maka semakin meningkat pula komponen-komponen pendukungnya. Meningkatnya perubahan iklim global dan perkembangan teknologi, mendukung penemuan baru dalam aplikasi penyimpanan energi oleh aki, seperti : transportasi elektrik, energi yang dapat diperbaharui seperti *photovoltaic* dan pembangkit listrik tenaga angin, suplai energi cadangan pada saat kondisi darurat. Dalam beberapa kasus, aplikasi baru dari aki membutuhkan cara baru dalam mengisi daya aki yang dimana selalu siap dalam hal penggunaan. Faktor ekonomi juga yang membuat dibutuhkannya pengertian yang mendalam dalam memperpanjang umur dari aki.



**Gambar 1. 1** Jumlah Pertumbuhan Kendaraan di Indonesia.[10]

Dari gambar 1.1, jumlah pertumbuhan kendaraan yang semakin meningkat dari tahun ke tahun semakin membutuhkan segala komponen dalam pembuatannya. Salah satu komponen yang menunjang otomotif salah satunya adalah aki. Dalam permintaan pasar akan otomotif, otomatis permintaan komponen lain semakin meningkat. Peningkatan permintaan ini harus diimbangi dengan kualitas dari produksi suatu komponen. Perusahaan Aki selalu meningkatkan produksi dan menjaga kualitas produknya serta menjaga kepercayaan konsumen terhadap produknya.



**Gambar 1. 2** Data Komplain Kerusakan Perusahaan Aki [2]

Namun pada kenyataannya, dalam produksi mengalami kegagalan atau cepat rusak. Dilihat dari gambar 1.2, Penyebab kegagalan tersebut bermacam-macam. Hal ini bisa terjadi disebabkan oleh beberapa faktor. Penyebab terjadinya kerusakan pada aki di perusahaan ini ada bermacam-macam, contohnya yang paling sering terjadi adalah *positive active mass degradation*, *broken terminal*, dan *short circuit*. *Positive active mass degradation* ini adalah lepasnya material aktif dari *grid*-nya sehingga menyebabkan kapasitas aki menjadi berkurang. *Broken terminal* ini adalah patahnya terminal pengantar daya dari sel sehingga daya tidak dapat dialirkan. *Short circuit* adalah terjadinya arus pendek pada plat positif dan negatif sehingga umur aki akan semakin pendek.

Pada produk aki motor sebuah perusahaan aki ini sering terjadi kerusakan. Pada aki motor kerusakan yang terjadi disebabkan oleh 2 penyebab, yaitu *short circuit* dan *unwelded connector*. Berdasarkan data jumlah kerusakan atau komplain dari konsumen pada tahun 2016, aki yang mengalami *short circuit* adalah 12% dari jumlah komplain.

Pada Aki kering, salah satu komponen memiliki permasalahan yaitu separator *absorptive glass mat* (AGM). Permasalahan yang terjadi pada separator AGM pada aki kering adalah gradien konsentrasi asam (*acid stratification*). Saat sel-sel tercas, asam sulfat memproduksi asam konsentrasi tinggi berdekatan dengan permukaan plat dan tenggelam ke dasar dari sel dikarenakan memiliki massa jenis relatif yang tinggi dibanding dari elektrolit lainnya yang tidak bereaksi. Jika dibiarkan, situasi ini akan menyebabkan pembentukan masa aktif yang tidak sama (*non-uniform*), korosi lokal semakin parah, dan akibatnya adalah pengurangan siklus hidup sel-sel pada aki. Selain itu, separator AGM harus dapat menahan sulfasi berlebih yang terjadi pada timbal oksida dalam grid saat terjadi *discharge*.



**Gambar 1. 3** Separator AGM yang rusak atau berlubang [2]

Permasalahan yang terjadi selain pada reaksi yang terjadi pada aki yaitu pada manufaktur baterai aki dimana produsen-produk aki menerima AGM dari produsen separator tanpa mengetahui detail seperti sifat-sifat dari AGM dan hasil uji coba dari separator AGM tersebut. Lalu pada pembuatan grid, permukaan dari grid yang tidak halus dan separator yang terlalu tipis menyebabkan separator sobek ketika pada proses pengisian grid dan separator pada sel seperti pada gambar 1.3.

Dalam proses pembuatan aki ini terdapat proses yaitu *filling* dan *sealing* aki sebelum dilakukan *charging*. Dalam proses ini cairan elektrolit harus terlebih dahulu menyebar pada

*absorptive glass mat* (AGM) sebelum terjadi charging, dikarenakan katoda harus basah oleh elektrolit, dimana AGM harus basah dengan sempurna pada elektrolit agar tidak terjadi reaksi kimia pada titik dimana AGM tersebut basah sedangkan yang tidak basah tidak terjadi reaksi. Lama elektrolit meresap ke AGM inilah yang menyebabkan proses produksi yang terjadi menjadi lebih lama ketika elektrolit tidak sepenuhnya terserap dengan cepat pada AGM.[5]

### 1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang menjadi objek penelitian ini adalah:

- Bagaimana *wicking rate* dan *acid absorption* dari tiap spesimen AGM yang diuji.
- Bagaimana pengaruh sifat-sifat serat terhadap *wicking rate* dan *acid absorption* dari AGM yang diuji.
- Bagaimana cara pemilihan AGM yang tepat untuk aki VRLA.

### 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang diberlakukan agar tugas akhir ini dapat berjalan secara fokus dan terarah serta dapat mencapai tujuan adalah komparasi separator AGM yang digunakan adalah berdasarkan separator dari produsen AGM untuk perusahaan produsen aki

### 1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan tujuan-tujuan sebagai berikut :

- Mengidentifikasi faktor-faktor pengaruh penyerapan elektrolit pada AGM.
- Membandingkan spesimen AGM mana yang lebih baik digunakan.
- Mengetahui *Wicking rate* dan *Acid absorption* dari tiap AGM yang diujikan.
- Mengidentifikasi sifat-sifat material spesimen AGM yang diujikan.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Memberikan identifikasi sifat AGM yang di teliti sehingga menjadi referensi dalam pemilihan AGM yang tepat.
- Menjadi rujukan dalam identifikasi *wicking rate* dan *acid absorption* dari separator AGM pada perusahaan Aki.

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab ini akan dibahas mengenai dasar teori dan tinjauan pustaka yang digunakan sebagai acuan, prosedur dan langkah-langkah dalam melakukan penelitian sehingga permasalahan yang diangkat dapat terselesaikan dengan baik. Adapun dasar teori dan tinjauan pustaka yang digunakan adalah berdasarkan permasalahan pada proses produksi aki sebuah perusahaan aki.

#### **2.1 Jenis-Jenis Aki**

Baterai adalah peralatan yang dapat mengkonversi energi kimia dengan menggunakan aktif material secara langsung menjadi energi listrik melalui reaksi elektrokimia reduksi-oksidasi (redoks). Selain itu, baterai juga dapat mengkonversi energi listrik menjadi energi kimia. Energi dalam baterai dapat dengan mudah diubah menjadi energi cahaya, panas atau energi mekanik. Namun baterai tidak mampu menyimpan energi dalam jumlah yang relatif besar.

Secara umum baterai terdiri dari satu atau lebih sel yang terhubung secara seri, paralel ataupun gabungan seri-paralel, tergantung tegangan dan kapasitas yang dibutuhkan. Didalam sel terdapat beberapa bagian yang sangat penting.[3]

Untuk baterai, salah satunya adalah aki. Aki banyak sekali jenisnya seiring banyaknya penemuan-penemuan baru baik dari jenis bahan kimianya maupun konstruksinya, sehingga penggunaannya pun berbeda-beda. Berdasarkan besar arus yang dihasilkan, ada dua macam jenis aki, yaitu [2] :

- a. Aki *starting*, merupakan jenis aki yang dirancang mampu menghasilkan energi (arus listrik) yang tinggi dalam waktu singkat sehingga dapat menyalakan mesin seperti mesin kendaraan. Dengan kata lain untuk menghidupkan mesin dibutuhkan arus listrik yang tinggi. Setelah mesin hidup, aki istirahat dan diisi kembali oleh *altenator*.

- b. Aki *deep cycle*, aki ini dirancang untuk menghasilkan energi (arus listrik) yang stabil (tidak sebesar aki *starting*) namun dalam waktu yang lama. Aki jenis ini tahan terhadap siklus *charge-discharge* aki yang berulang-ulang, karenanya konstruksinya menggunakan plat yang lebih tebal. Aki ini digunakan pada peralatan yang menggunakan motor listrik seperti kursi roda, *forklift*, mobil golf dan pada proyek energi alternatif seperti pembangkit listrik tenaga surya.

Berdasarkan volume elektrolitnya, aki dibagi menjadi dua jenis, yaitu :

- a. *Flooded*, jenis ini disebut juga *wet sel*. Aki ini dikenal dengan aki basah, maksudnya sel-sel didalam aki harus terendam cairan elektrolit dan jika level cairannya kurang, harus ditambah. Ciri-cirinya setiap sel ada katup *charge* cairan elektrolitnya.
- b. *Valve-regulated lead-acid* (VRLA), aki ini disebut juga aki *maintenance free*. Didesain agar cairan elektrolit tidak berkurang karena bocor atau penguapan. Aki jenis ini memiliki katup ventilasi yang hanya terbuka saat tekanan tinggi untuk pembuangan gas hasil reaksi kimianya. Tidak memiliki katup untuk isi ulang cairan elektrolitnya maka dari itu dikenal dengan bebas perawatan. Aki jenis VRLA dibagi menjadi dua berdasarkan konstruksi internalnya. Yang pertama adalah jenis *Gel Sel-sel* dimana cairan elektrolitnya dicampur dengan pasir silica sehingga cairan menjadi kental seperti agar-agar. Yang kedua adalah *Absorbent Glass Mat* (AGM) yang memiliki *separator* dari *fiberglass* yang diletakan diantara plat-plat selnya yang bertujuan untuk menyerap cairan elektrolit agar tersimpan di pori-pori *fiberglass*.



## 2.2 Bagian Baterai Aki

Berikut ini adalah bagian dari baterai Aki[3]:

### 1. Elektroda negatif (Anoda)

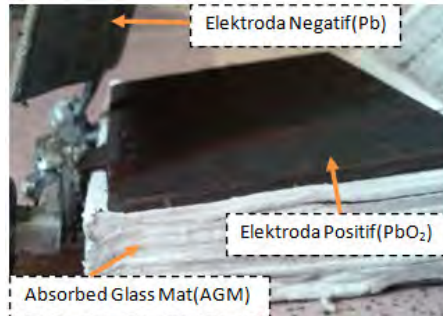
Pada gambar 2.1 elektroda negatif terjadi pelepasan elektron ke eksternal *circuit* dan elektron akan teroksidasi selama reaksi elektrokimia.

### 2. Elektroda positif (Katoda)

Pada elektroda positif terjadi penerimaan elektron dari eksternal *circuit* dan elektron akan tereduksi selama reaksi elektrokimia.

### 3. Elektrolit

Elektrolit berperan sebagai media transfer ion pada proses *charge* maupun *discharge*. Jenis elektrolit yang biasa digunakan adalah berupa larutan, seperti air dengan zat yang terlarut berupa garam, asam, alkalis untuk memberikan konduktifitas ion.



**Gambar 2.1** Elektroda positif dan negatif.

### 4. Separator (*AGM*)

*Absorbed Glass Mat* berfungsi untuk menyerap larutan elektrolit dan mencegah hubungan arus pendek antara elektroda positif dan elektroda negatif pada baterai. AGM mempunyai pori-pori sehingga mampu mempertahankan

elektrolit untuk reaksi elektrokimia secara kontinyu pada aktif material. Keuntungan baterai VRLA menggunakan AGM:

- a. Bebas perawatan.
- b. Tahan terhadap kebocoran.
- c. Dapat dioperasikan dengan posisi *upright* atau *on side*.
- d. Laju evolusi gas sangat rendah.
- e. Unggul untuk *discharge* dengan laju yang tinggi atau durasi yang pendek.
- f. Tahan terhadap getaran.

#### 5. *Valve Regulated*

*Valve Regulated* terdiri dari satu arah katup yang terbuat dari bahan seperti neoprene. Ketika gas yang dihasilkan terlalu berlebih maka katup terbuka untuk melepaskan tekanan yang berlebihan dari baterai dan menjaga tekanan gas dalam jangkauan tertentu. Selama penggunaan, katup baterai menutup untuk mencegah masuknya udara luar dan mencegah oksigen diudara agar tidak bereaksi dengan aktif material dalam elektroda negatif

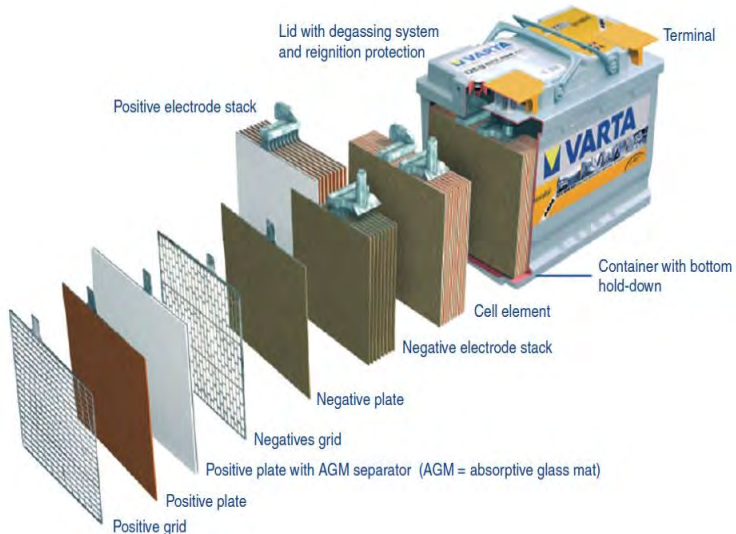
#### 6. Terminal positif dan negatif

Bentuk terminal elektroda positif dan negatif tergantung pada jenis baterai. Pemasangan terminal dicapai dengan perekat epoxy yang kuat.

#### 7. *Casing* baterai

Bahan yang digunakan untuk membuat *casing* baterai adalah resin atau dapat digunakan bahan lainnya.

## 2.3 Valve-regulated Battery



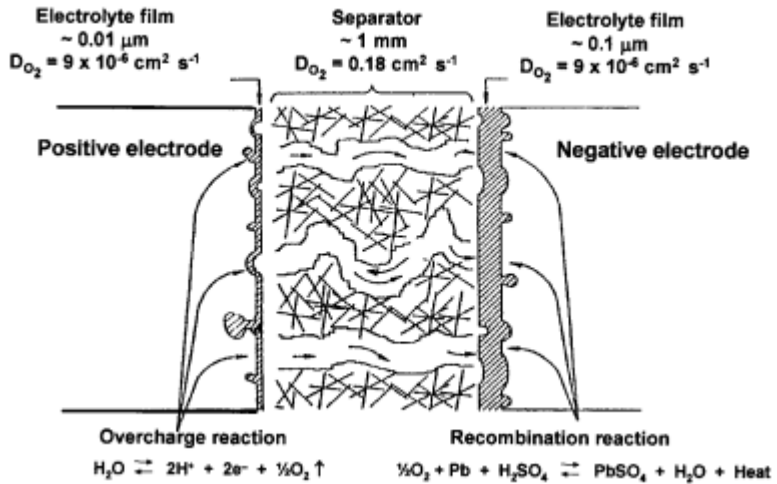
**Gambar 2.2** Struktur pada Aki *Valve-regulated* [3]

Sejauh ini, pengisian daya dari aki VRLA seperti pada gambar 2.2, lebih kompleks dibandingkan dengan aki basah. Saat pengisian daya aki VRLA Ketika sirkuit eksternal disambungkan ke kedua elektroda, elektron akan berpindah dari massa aktif yang satu ke massa aktif yang lain, dengan itu komposisi kimia nya pun akan berubah. Pada saat yang sama, elektrolit juga berpartisipasi dalam reaksi ini, dengan pergerakan ionnya antar massa aktif. Reaksi elektrokimia ini membuat aki dapat menghasilkan energi listrik untuk beban yang sudah disambungkan selama *discharge*, atau menerima energi listrik dari sumber listrik pada saat *charge*. [7]

Reaksi kimia dari pengisian aki VRLA identik dengan pengisian lead acid battery pada umum nya. Dua buah plat, timbal

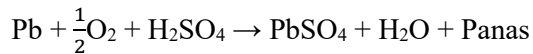
sulfat terkonversi menjadi material aktif melalui aliran arus listrik pada awalnya dengan efisiensi 100% (kecuali energi yang terdisipasi akibat hambatan). Ketika timbal sulfat terkonversi menjadi timbal berpori di plat negatif dan timbal dioksida pada plat positif tidak bisa mendukung arus pengisian yang diterapkan, lalu efisiensi turun jauh dibawah 100%. Karena efisiensi charge-acceptance dari kedua elektroda berbeda, tidak dipengaruhi oleh kesamaan State of Charge (SoC). Biasanya, charge-acceptance dari elektroda positif lebih buruk dibandingkan dengan elektroda negatif. Dengan demikian, elektroda positif menjadi overcharge pada saat 70-80% SoC, tergantung dari struktur pori, luas permukaan, dan besarnya arus pengisian. Charge-acceptance dari plat negatif lebih besar sehingga batas overcharge nya hingga 90% SoC. Dimana proses overcharge dimulai ditentukan oleh faktor desain dan kondisi pengisian. Secara umum, dapat dikatakan bahwa elektroda positif mengalami overcharge terlebih dahulu dibandingkan elektroda negatif.

Perbedaan dari aki kering maupun aki basah adalah adanya sebuah lapisan penyekat berupa *absorptive glass mat* pada aki kering yang berfungsi untuk mencegah terjadinya arus-pendek antar elektroda dan memberikan jalur yang baik untuk pertukaran ion pada elektroda. Perbedaanannya dengan aki flooded dimana gas hasil sampingan dari reaksi elektrokimia ini lebih sedikit dibandingkan dengan aki tanpa pemisah diantara elektroda dikarenakan adanya sirkulasi elektrolisis yang menahan pemisahan dari air yang naik sehingga air tersebut tidak bereaksi dan menghasilkan hidrogen dan oksigen. Selain itu pada container terdapat lubang ventilasi untuk menjaga tekanan dari kontainer aki agar tidak berlebih. Lubang ventilasi ini aka otomatis menyesuaikan tekanan, jika tekanan pada kontainer menjadi besar.[7]

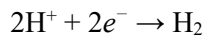


**Gambar 2.3** siklus yang terjadi pada sel aki *Valve-regulated* [7].

Pada gambar 2.3 Terjadi transfer melalui celah pada separator ke elektroda negatif dimana terjadi pengurangan air :

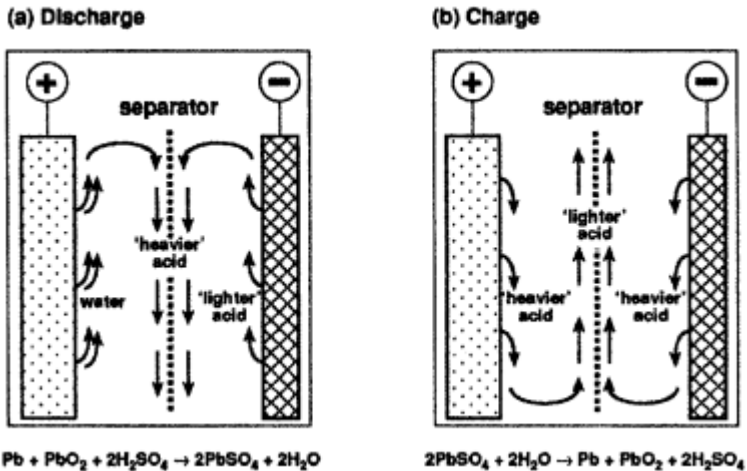


Dua reaksi lainnya yang terjadi pada saat proses charging dari aki VRLA adalah terjadinya produksi gas hidrogen pada plat negatif:



dan korosi terjadi pada grid positif:





**Gambar 2.4** Skema proses dan diagram aliran elektrolit dengan perbedaan saturasi dari aki dengan separator saat *Discharge* dan *Charge* [7].

## 2.4 Charging dan Discharging Aki

Dilihat pada gambar 2.4, pada saat aki digunakan terjadi perubahan energi kimia menjadi energi listrik dan terjadi perubahan anode, katode dan elektrolitnya. Pada anode, secara perlahan terjadi perubahan yaitu timbal dioksida (PbO<sub>2</sub>) menjadi timbal sulfat (PbSO<sub>4</sub>). Begitu pula yang terjadi pada katode adalah secara perlahan-lahan timbal murni (Pb) menjadi timbal sulfat (PbSO<sub>4</sub>). Adapun pada larutan elektrolit terjadi perubahan, yaitu asam sulfat pekat menjadi encer, karena pada pengosongan aki terbentuk air (H<sub>2</sub>O). Reaksi kimia pada akumulator yang dikosongkan (dipakai) adalah sebagai berikut :

- Pada elektrolit :  $H_2SO_4 \rightarrow 2H^+ + SO_4^{2-}$
- Pada anode :  $PbO_2 + 2H^+ + 2e + H_2SO_4 \rightarrow PbSO_4 + 2H_2O$
- Pada katode :  $Pb + SO_4^{2-} \rightarrow PbSO_4$

Terbentuknya air pada reaksi kimia di atas menyebabkan kepekatan asam sulfat berkurang, sehingga mengurangi massa jenisnya. Jika hal itu terjadi, maka kedua kutub akan memiliki potensial sama dan arus listrik berhenti mengalir. Keadaan ini dikatakan aki kosong (habis).[3]

Aki yang telah habis (kosong) dapat diisi kembali, karena itulah aki disebut juga dengan elemen sekunder. Untuk melakukan pengisian diperlukan sumber tenaga listrik arus searah lain yang memiliki beda potensial sedikit lebih besar. Misalnya akku 6 volt kosong harus disetrum dengan sumber arus yang tegangannya sedikit lebih besar dari 6 volt. Kutub positif sumber tegangan dihubungkan dengan kutub positif aki, dan kutub negatif sumber tegangan dihubungkan dengan kutub negatif aki. Dengan cara tersebut elektron-elektron pada aki dipaksa kembali ke elektrode aki semula, sehingga dapat membalik reaksi kimia pada kedua elektrodanya.

Proses pengisian dapat berjalan dengan baik apabila arus searah yang diberikan memiliki ripple yang cukup tinggi untuk mempermudah proses kimia (pelepasan elektron) dalam kepingan-kepingan elektroda. Selain itu, penggunaan arus pengisian yang relatif kecil dengan waktu pengisian lama dapat diperoleh hasil pengisian yang lebih baik dan memperpanjang umur pakai aki. Besarnya arus pengisian dapat diatur dengan reostat. Pada saat pengisian terjadi penguapan asam sulfat, sehingga menambah kepekatan asam sulfat dan permukaan asam sulfat turun. Oleh sebab itu, pada aki perlu ditambahkan air murni (H<sub>2</sub>O) kembali. Reaksi kimia yang terjadi saat aki diisi adalah :

- Pada elektrolit :  $\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-}$
- Pada anoda :  $\text{PbSO}_4 + \text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{PbO}_2 + 2\text{H}_2\text{SO}_4$
- Pada katoda :  $\text{PbSO}_4 + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{Pb} + \text{H}_2\text{SO}_4$  (2.5)

Jadi pada saat pengisian aki, pada prinsipnya mengubah kembali anode dan katode yang berupa timbal sulfat ( $\text{PbSO}_4$ ) menjadi timbal dioksida ( $\text{PbO}_2$ ) dan timbal murni ( $\text{Pb}$ ), atau terjadi proses ” Tenaga listrik dari luar diubah menjadi tenaga kimia listrik di dalam aki dan kemudian disimpan di dalamnya.”[4]

## 2.5 Proses pengisian cairan elektrolit ke dalam kontainer aki VRLA

Disaat aki VRLA telah dimanufaktur di proses pengisian kontainer, mengisi cairan elektrolit merupakan proses yang rumit, dikarenakan terjadinya kompresi dua plat dan separator yang ada pada sel. Efisiensi dari proses pengisian elektrolit tergantung berdasarkan beberapa parameter[5]:

1. Pore system dalam AGM dan plat.  
Plat dan pemisah AGM memiliki struktur berpori. Transportasi elektrolit  $\text{HSO}_4$  melalui pori sangat terhalang. Bagaimanapun, dan tergantung dengan total jumlah pori dan besar pori terdistribusi dan juga sifat *hydrophilicity* dari dinding pori, di plat maupun AGM.
2. Desain plat dan dimensinya.  
Proses sulfasi yang dilakukan oleh reaksi antara  $\text{HSO}_4$  dan  $\text{PbO}$  yang dimana air dihasilkan, dan gradien konsentrasi  $\text{HSO}_4$  yang tercipta di bagian berbeda dari kumpulan plat juga berbeda.  $\text{HSO}_4$  pada larutan elektrolit menjadi encer ketika penetrasi ke interior dari gabungan plat yang lemah terhadap  $\text{HSO}_4$  atau air tersisa. Di lain kasus, partikel pasta terhidrasi. Proses ini bergantung pada desain plat dan metode dari pengisian larutan  $\text{HSO}_4$ .
3. Komposisi fasa pada *cured paste*.  
Proses sulfasi dari  $\text{PbSO}_4$  dan  $\text{PbO}$  didalam pasta adalah proses eksotermik. Panas terlepas dari reaksi menyebabkan temperatur dari kumpulan plat meningkat. Karena konsentrasi asam yang berbeda pada setiap sel dan grup plat, temperatur yang terdapat pada aki berbeda-beda di tiap sel nya. Di suatu



sel lebih tinggi asam nya sehingga uap air mungkin terbentuk. Di kasus ini, oksida dari *cured pastes* dapat terhempas keluar ke separator. Untuk mencegah hal ini, biasanya larutan  $\text{HSO}_4$  didinginkan terlebih dahulu dibawah  $0^\circ\text{C}$  sebelum dialirkan ke sel.

Teknik pengisian yang sering digunakan adalah sebagai berikut:

1. Pengisian sel dengan larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  menggunakan gaya gravitasi. Ini merupakan metode yang paling lambat dan menghasilkan distribusi  $\text{H}_2\text{SO}_4$  yang tidak merata pada tiap grup plat.
2. 60% dari larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  diisi menggunakan metode gravitasi lalu di perlakukan dengan ruang vakum. Setelah itu elektrolit sisanya baru ditambahkan.
- 2.1 Sel nya di berikan perlakuan vakum. 35% dari volume elektrolit diisi dan sel di vakumkan kembali. Lainnya 35% elektrolit ditambahkan. Lalu kembali divakum dan sisa 30% volume elektrolit diisi. Metode ini diaplikasikan biasanya untuk aki VRLA yang menggunakan gel. Ada 2 tipe *Vacuum Treatment*: (1) '*Soft Vacuum*', dimana tekanan sedikit lebih rendah dibanding tekanan atmosfer pada sel-sel; (ii) '*Hard Vacuum*' dimana tekanan sel  $<15$  mm Hg. *Hard vacuum treatment* memastikan pengisian yang lebih cepat pada grup plat dengan elektrolit.

sel aki VRLA terisi dengan elektrolit  $\text{H}_2\text{SO}_4$  hingga lapisan elektrolit terbentuk pada dinding plat. Pada penyelesaian dari proses formasi, kelebihan larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dihilangkan dari sel. Permukaan elektrolit yang seperti cermin, terinterupsi hanya dengan bagian atas dari separator, terbentuk di grup plat. ini sesuai dengan 100% saturasi dari separator AGM dengan elektrolit. Pada awal siklus, siklus oksigen bekerja dengan efisiensi yang rendah. Ini mengarah kepada water loss dan disaat saturasi elektrolit jatuh dibawah 96%, efisiensi dari siklus oksigen bertambah dan water

loss berkurang. Disaat banyak bagian dari air dan elektrolit terdekomposisi, air seharusnya ditambahkan untuk memulihkan air yang hilang.

## 2.6 Short Circuit

*Short circuit* di pemisah terjadi akibat penggunaan aki secara berlebihan. Biasanya terjadi pada aki jenis SLI. Dalam cairan asam, sulfat timbal cenderung mengendap dalam bentuk padat ke dalam pori-pori pemisah. Saat *recharge*, endapan tadi membentuk atau berubah menjadi dendrit, menyebabkan “*metallization*” *separator*.

Fenomena ini berkaitan dengan fakta bahwa kelarutan  $\text{PbSO}_4$  meningkat tajam karena konsentrasi asam turun mendekati nol. Sementara dalam 0.1M asam, kelarutan  $\text{PbSO}_4$  pada  $25^\circ\text{C}$  hanya bernilai  $1.6 \times 10^{-5}$  mole/l, ini meningkat dalam *pure water* menjadi  $1.5 \times 10^{-4}$  mole/l. Kelarutan yang relatif tinggi dari  $\text{PbSO}_4$  dalam konsentrasi asam mendekati nol akan dapat menurun secara drastis dengan penambahan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  ke cairan elektrolit baterai. Dengan konsentrasi 0.1 mole/l cukup untuk menahan pembentukan dari *separators*. Tipe pemisah dengan pori-pori besar cenderung lebih mudah termetalisasi dibandingkan dengan pemisah dengan pori-pori kecil. Semakin tipis pemisah, semakin berbahaya untuk terjadinya *short circuit*. [3]

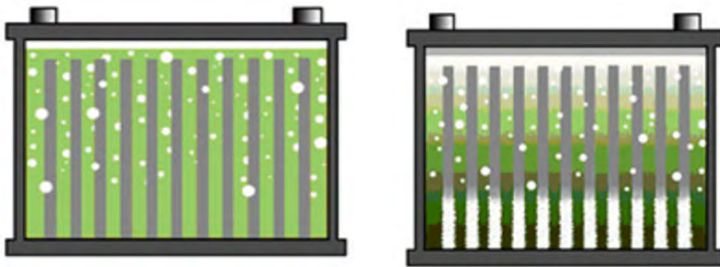
## 2.7 Acid Stratification dan Drainase

Distribusi merata elektrolit asam sulfat pada plat-plat aki adalah hal yang penting agar aki memberikan performa terbaik. Ada 2 tipe dari yang dihadapi saat pada prakteknya, yang pertama adalah distribusi heterogen fase cair sebelum terjadi saturasi dan yang kedua adalah pengembangan gradien konsentrasi dalam fase cair [1].

Distribusi heterogen dari elektrolit diantara plat-plat tidak hanya mempengaruhi proses siklus oksigen, tetapi juga mencegah pemanfaatan material aktif sejak daerah dari plat yang dimana mengering, tidak mendapatkan reaksi discharge karena tidak

terdapat elektrolit pada daerah tersebut. Fenomena ini menjadi masalah serius dimana mengalami *water loss* dan pengurangan elektrolit.

Selain itu, adalah drainase. Ada sebuah pembatasan ketinggian dimana gaya dari tegan permukaan dapat membawa cairan bertentangan dengan kekuatan gravitasi. Plat yang lebih tinggi dari limit nya akan mudah tersaturasi di atas dengan konsekuensi yang sama yang menyebabkan turunnya tingkat kejenuhan. Sebaliknya, drainase elektrolit dari separator dalam sel yang telah dirakit akan mengalami pengurangan kinerja, terutama pada saat *low discharge*. Dimana penurunan elektrolit membatasi kapasitas. Sebab itu, drainase dibuat dengan ketinggian optimum yang mempunyai limit. Biasanya untuk AGM yang dipakai pada aki produksi massal, limit ketinggiannya adalah 30-40 cm. Jika kapasitas membutuhkan plat dengan ukuran besar, maka antara platharus di pasang secara horizontal atau menggunakan material dengan pori-pori yang lebih halus digunakan pada separator.



**Gambar 2. 5** (kiri) aki pada keadaan normal. (kanan) *stratified battery*. Aki dengan umur tua, dimana penyebaran tidak merata elektrolit akibat perbedaan massa relatif [3]

Gradien konsentrasi asam (*acid stratification*) seperti pada gambar 2.5 umumnya terjadi pada elektrolit aki basah (*flooded battery*). Saat sel-sel tercas, asam sulfat memproduksi asam konsentrasi tinggi berdekatan dengan permukaan plat dan tenggelam ke dasar dari sel dikarenakan memiliki massa jenis

relatif yang tinggi dibanding dari elektrolit lainnya yang tidak bereaksi. Jika dibiarkan, situasi ini akan menyebabkan pembentukan masa aktif yang tidak sama (*non-uniform*), korosi lokal semakin parah, dan akibatnya adalah pengurangan siklus hidup sel-sel pada aki. Sel aki basah biasanya menghasilkan gas saat dalam keadaan pengisian, dan terjadi perputaran elektrolit ketika dalam proses tersebut seperti gambar 2.5. dikarenakan aki VRLA memiliki separator AGM, terjadi reduksi pergerakan elektrolit. Pergerakan elektrolit ini juga sedikit karena opsi lainnya seperti aki basah, pergerakan gas terjadi sangat sedikit, sehingga tidak memungkinkan. Solusi lainnya untuk mengurangi pergerakan elektrolit ini adalah menggunakan elektrolit gel, dimana elektrolit gel ini mengeliminasi efek stratifikasi karena molekul gel tidak dapat bergerak bebas terpengaruhi oleh gravitasi.

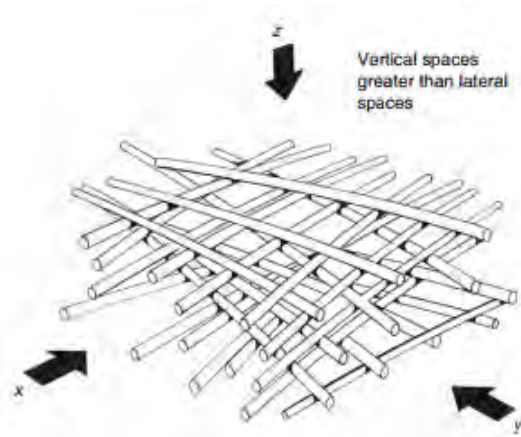
## **2.8 Absorptive Glass Mat (AGM)**

*Absorptive Glass Mat (AGM)* terbuat dari 100 % serat kaca, dan ada 2 buah teknik manufaktur nya dalam pembuatan material kaca nya. Awal nya dengan bahan kaca borosilikat dengan kemurnian yang tinggi. Serat-serat kasar dari bahan ini dibuat dengan menggunakan proses rotasi; serat-serat halus dibuat dengan menggunakan proses pembakaran yang merupakan proses yang cukup mahal. Pemisah ini biasanya mengandung campuran serat kasar dan halus untuk memberikan keseimbangan yang optimal dengan properties pemisah dan biaya pembuatan dari pemisah ini. Pembuatan AGM ini sama dengan pembuatan kertas, yaitu dengan cara *wet laying process* dimana AGM yang telah disatukan menjadi satu lalu di lapiskan ke alas datar dengan ketebalan awal yang belum ditentukan, lalu di lebar kan, setelah itu dijemur/dikeringkan dengan pengering. Setelah itu AGM digulung menjadi suatu gulungan. Setelah itu ketebalan AGM ditentukan sesuai dengan yang diinginkan dengan cara trimming jika tebal awal lebih besar atau dengan cara stacking atau mendempetkan AGM sehingga mendapatkan ketebalan yang diinginkan.[3][5]



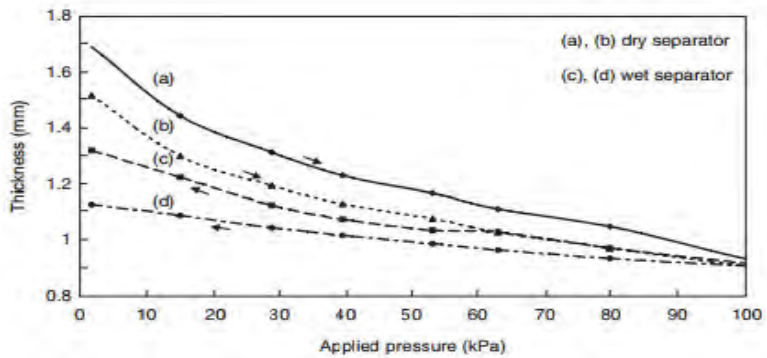
**Gambar 2. 6** *Scanning Electron Micrograph (SEM) dari Absorptive glass mat [5]*

Dari gambar 2.6, bisa dilihat struktur mikro dari AGM yang merupakan suatu gabungan berbagai serat dengan diameter beragam, besar dan kecil. Hasil dari *wet laying process* bisa kita lihat banyak nya jaringan yang yang sifat/properties yang berbeda dalam arah berbeda (*anisotropic networking*) dengan pori-pori dan saluran-saluran yang berada pada AGM ( misalnya, diukur dalam arah tegak lurus terhadap bidang pemisah atau arah z) menjadi lebih besar dibandingkan pori-pori dari arah lainnya (x dan y). Biasanya pori-pori pada arah sumbu z mempunya besar diameter sekitar 10-30  $\mu\text{m}$  di sumbu z dan 2-4  $\mu\text{m}$  pada sumbu x dan y. Pori-pori kecil yang terdapat pada sumbu x dan y bertujuan untuk mendistribusikan elektrolit dan menjaga penyerapan dan sebagian jenuh/*saturated*. Pori-proi berdiameter besar pada sumbu z bertujuan untuk saluran gas yang dihasilkan dari proses elektrolisis. *Anisotropic network* bisa kita lihat pada gambar 2.7.



**Gambar 2. 7** skema mikrostruktur dari *absorptive glass mat* (AGM) [5]

Selain dari lebar pori-pori nya, AGM juga memiliki sifat seperti pegas yang dimana saat terkompresi melawan kearah gaya kompresi yang diterapkan. Saat gaya di hentikan, AGM ini kembali dekat ke titik dimana ketebalannya aslinya sebelum terkompresi, membuat perlakuan ini adalah seperti bahan viskoelastik. Viskoelastik material adalah material yang dimana berubah bentuk pada pemberian beban dengan waktu yang ditetapkan, menunjukan efek mulur dan tetap ada pemberian tegangan yang konstan. Contoh perilaku dari separator ini ada pada gambar 2.8.



**Gambar 2. 8** Kurva Ketebalan-Kompresi dari absorptive glass mat (AGM) separator; arah panah menunjukkan penambahan/penurunan tekanan [5]

Karakteristik kemampuan penyerapan dapat ditambah dengan memaksimalkan luas permukaan dengan penggunaan serat padat dengan diameter yang kecil, tetapi membutuhkan biaya produksi yang tinggi dan kemungkinan menurunkan efisiensi dari rekombinasi oksigen. Campuran serat dan perlakuan-perlakuan yang menghasilkan besari pori dan sifat-sifat terkait yaitu kekuatan tarik dan kompresibilitas. Selain itu, beberapa produsen menggunakan serat *choped* untuk memberikan separator dengan kemampuan karakteristik kompresi yang seragam. Untuk pengaruh besar kecilnya diameter serat bisa dilihat pada tabel 3.1 dan pengaruh ketebalan dan kompresi pada gambar 2.8. Separator yang mengandung proporsi serat halus yang lebih tinggi, membutuhkan biaya mahal, tetapi pembuat aki menerima hukuman ini dalam rangka meningkatkan kualitas baterai atau meningkatkan karakteristik tertentu pada separator. Bahan separator dapat digunakan dalam *single layer* maupun *multi layer*. Karena variasi proses manufaktur yang menyebabkan perbedaan ketebalan sebelum terkompresi, parameter biasanya menggunakan tekanan standar yang biasanya ditetapkan sebesar 10 kPa.

**Tabel 3. 1** besar diameter, panjang serat, dan luas permukaan dengan besar pori, kekuatan tarik dan biaya nya [5]

Fibre diameter ( $\mu\text{m}$ )	0.1	0.5	1.0	2.0	5.0	10.0
Fibre length ( $\text{m kg}^{-1}$ )	$4.7 \times 10^{10}$	$1.9 \times 10^9$	$4.7 \times 10^8$	$1.2 \times 10^8$	$1.9 \times 10^7$	$4.7 \times 10^6$
( $\text{m m}^{-3}$ )	$1.1 \times 10^{13}$	$4.5 \times 10^{11}$	$1.1 \times 10^{11}$	$2.8 \times 10^{10}$	$4.5 \times 10^9$	$1.1 \times 10^9$
Surface area ( $\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$ )	14 800	2960	1480	741	296	148
( $\text{m}^2 \text{m}^{-3}$ )	$3.5 \times 10^6$	$7.1 \times 10^5$	$3.5 \times 10^5$	$1.8 \times 10^5$	$7.1 \times 10^4$	$3.6 \times 10^4$
Pore size	→ increasing →					→
Tensile strength	→ decreasing →					→
Cost	→ decreasing →					→

Sistem kapiler dalam media berpori melibatkan fase padat dan setidaknya dua fase cair (yaitu masing-masing, udara/oksigen dan asam sulfat). Penghubung antara fase padat dan cair berhubungan dengan gaya tegangan permukaan. Dalam rangka meminimalkan luas kontak dengan fase gas, cairan akan cenderung melewati pori-pori kecil pada awalnya, karena untuk melewati seluruh pori-pori besar akan mengekspos luas permukaan yang lebih besar ke fase gas.

Tingkat *wicking* ,  $dh/dt$ , untuk pembasahan struktur berporos oleh cairan adalah menggunakan persamaan Washburn [9]. Hubungan ini terdiri dari 2 hal: yang pertama mendefinisikan pengaruh tegangan permukaan, sedangkan yang kedua mendefinisikan efek gravitasi, sebagai berikut:

$$dh/dt = 2r\gamma \cos \theta / 8\eta h - r^2 \rho g / 8\eta \quad (2.1)$$

Dimana  $h$  adalah ketinggian dari *wicking*;  $t$  adalah waktu;  $r$  adalah radius diameter pori;  $\gamma$  adalah tegangan antar muka;  $\theta$  adalah sudut kontak;  $\eta$  adalah viskositas dari cairan;  $\rho$  adalah massa jenis cairan;  $g$  adalah konstanta gravitasi.



Integrasi dari persamaan 2.1 Dan memasukan limit  $h = 0$  saat  $t = 0$  menghasilkan:

$$\frac{r^2 \rho g}{8\eta} = h_m \ln \left[ \frac{h_m}{h_m - h} \right] - h \quad (2.2)$$

Dimana  $h_m$  adalah ketinggian maksimum yang dicapai cairan pada waktu tak terbatas, yaitu :

$$h_m = 2\gamma \cos \theta / \rho g r \quad (2.3)$$

Jika koefisien gravitasi diabaikan, hasil integrasinya menjadi:

$$h^2 = \gamma r t \cos \theta / K^2 2\eta \quad (2.4)$$

Dimana  $K$  adalah *tortuosity factor* yaitu rasio kompleksitas dari geometry dengan media berporos dimana karakter suatu jalur difusi fluida melalui media berporos.

Lalu gaya penggerak cairan untuk penetrasi diatur oleh gradient pressure,  $P$ . Gradien tekanan pada kapilaritas uniform dari radius  $r$  adalah:

$$P = 2\gamma \cos \theta / r \quad (2.5)$$

Persamaan 2.1 Mengindikasikan plotting dari  $dh/dt$  versus  $1/h$  harus memberikan garis lurus. Lalu untuk relasi dari kecepatan *wicking* dimana pengaruhnya proporsional terhadap besar nya pori. Kapilaritas cairan meningkat pada pori yang besar.persamaan 2.3 mengatakan bahwa ketinggian maksimum yang didapat ketika cairan akan meningkat (setelah *infinite time*) berkebalikan proporsional dengan besar dari pori, semakin kecil pori, semakin mudah cairan terserap. Berikut adalah rumus dari *wicking rate* :

$$Wicking Rate (mm/min) = \frac{wicking height (mm) \times 60 sec}{Waktu pengambilan (sec)} \quad (2.6)$$

Dari persamaan tersebut, seharusnya didapatkan hasil dengan material yang memiliki besar pori berbeda dan kehalusan serat berbeda yang juga memiliki hubungan, dimana semakin banyak serat halus, maka semakin kecil besar pori. Hubungan dari ketinggian *wicking* dan waktu, seperti prediksi persamaan selanjutnya, jelas bahwa persentase serat halus yang besar menyebabkan ukuran pori semakin kecil, semakin lambat proses *wicking*. [5]

## 2.9 Sifat fisik dari Material AGM

Material AGM yang biasanya digunakan pada aki VRLA harus bisa bertahan dari tekanan dari plat-plat didalam sel, bisa menahan elektrolit pada tempatnya, dan harus cukup pada ruang yang diberikan, dan memungkinkan untuk memberi ruang transportasi oksigen dari plat positif ke negatif. Beberapa sifat-sifat AGM terdapat pada tabel 1.1. selain itu ada ketentuan penting yang harus dicakupi oleh AGM [7] yaitu:

- Ketinggian *wicking* maksimal setelah beberapa periode berbanding terbalik dengan ukuran pori dari separator.
- Separator dapat ditekan (compressible) dan ketebalannya berkurang seiring dengan penambahan tekanan pada separator. Kompresi juga mereduksi besar nya pori pori pada bidang vertikal dari separator.
- Separator dengan luas permukaan yang tinggi menunjukan penurunan yang lebih kecil ketebalan dibandingkan tekanan yang diberikan pada separator dengan luas permukaan rendah. Oleh karena itu, pemberian tekanan yang tinggi dibutuhkan untuk mendapatkan persentase kompresi yang sama dengan type separator awal.

Kunci dari karakteristik fisik material separator AGM ini berdasarkan metode pengujian *Battery Council International* (BCI) [5] adalah sebagai berikut:

- **Ketebalan**  
Dikarenakan sifat natural dari AGM adalah sangat sangat mudah dikompresi, maka pengukuran ketebalan pada saat tekanan standar dibutuhkan. Tekanan yang dipilih adalah 10 kPa. Jadi, perhitungan dari persentasi kompresi berdasarkan ketebalan awal dari separator diukur dari 10kPa. Yang perlu diperhatikan adalah kelembapan relatif dan penanganan sebelum pengujian mempengaruhi hasil tes.
- **Berat pokok (*grammage*)**  
Merupakan berat per unit area dan biasanya diekspresikan dalam  $\text{g/m}^2$ . Sejak AGM juga dijual dengan satuan berat dan juga per luas, lalu di koreksi untuk kelembapan dari spesimen (AGM bisa jadi membawa kelembapan dari manufaktur maupun hasil tes) berikut adalah rumusnya :

$$\text{Grammage} \left( \frac{\text{gr}}{\text{m}^2} \right) = \frac{\text{Massa total AGM (gr)}}{\text{Luas Spesimen (m}^2\text{)}} \quad (2.7)$$

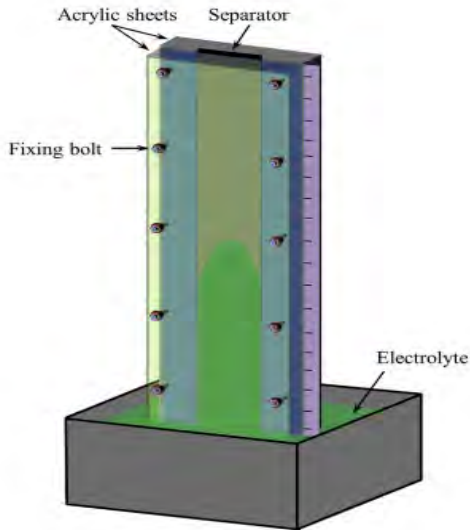
- **Volume Porosity**  
Merupakan rasio dari total volume kosong hingga total volume yang terlihat, biasanya diekspresikan dalam bentuk persentase. Volume terlihat didapatkan dari melipatgandakan/memperbanyak area sampel yang terlihat pada pengukuran pada tekanan tertentu. Volume kosong adalah porsi dari volume terlihat yang dimana tidak terbentuk menjadi suatu ikatan dalam separator.
- **Besar pori**  
Besarnya pori pada AGM diambil dari besar maksimal pori yang terdapat pada AGM, teknik untuk mengetahui besar pori AGM, biasanya dengan menggunakan SEM atau Coultry porometer.
- **Acid Absorption**  
Merupakan rasio berat dari larutan elektrolit terserap dengan berat AGM yang digunakan. Rasio ini menentukan kemampuan suatu AGM dalam menyerap elektrolit per satu gram nya. Diujikan dengan membandingkan berat

kosong dengan berat isinya, sehingga dapat diketahui berapa besar AGM yang terserap. Rumusnya sebagai berikut:

$$\text{Acid Absorption} \left( \frac{\text{gr}}{\text{gr}} \right) = \frac{\text{Berat Liquid Terserap (gr)}}{\text{Berat Kosong (gr)}} \quad (2.8)$$

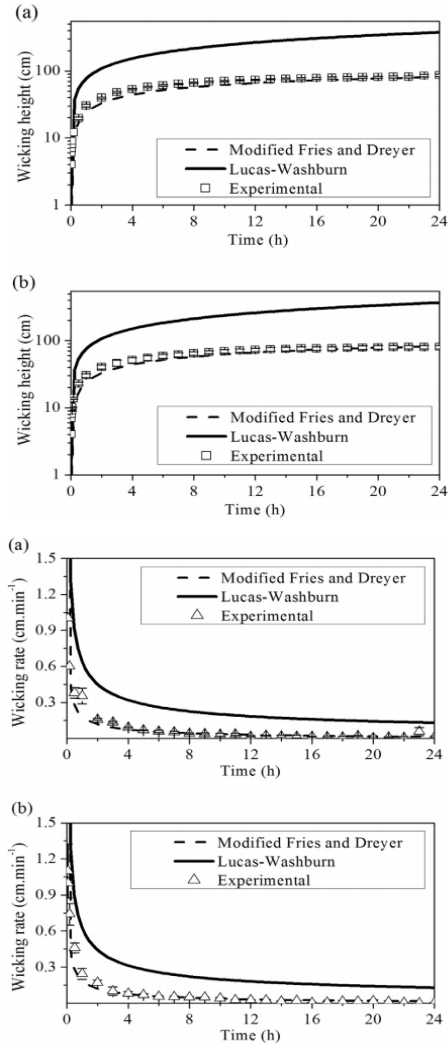
## 2.10 Penelitian Terdahulu

Penelitian sebelumnya mengenai *wicking rate* dan *absorption rate* pernah dilakukan oleh Amit Rawal, Vijay Kumar, dan P.V. Kameswara Rao di *Departement of Textile Technology, Indian Institute of Technology Delhi* pada tahun 2016. Penelitian tersebut berjudul “*Amplification of Electrolyte uptake in absorptive glass mat (AGM) separator for valve regulated lead acid (VRLA) batteries*”. [8] Pada penelitian tersebut, peneliti melakukan eksperimen mengenai AGM yang diteliti, dengan menggunakan perendaman AGM yang telah dikunci dalam suatu lembaran akrilik dengan merendam AGM ke elektrolit seperti pada gambar 2.9. Dari perendaman ini didapatkan hasil berupa *Wicking height per time*, *wicking rate per time*, dalam keadaan (ditekan dua sisi) dan *unconfined* (tanpa tekanan plat). Hasil data dari rendaman eksperimen spesimen AGM dibandingkan dengan hasil dari eksperimen modifikasi Fries-Dryer dan teori Lucas-Washburn. Ternyata hasilnya sama dengan teori yang dieksperimenkan oleh Fries dan Dryer dimana pengaruh karakteristik penyerapan tidak bisa mengabaikan tekanan gravitasi.



**Gambar 2.9** Set up dari eksperimen *wicking rate* [8]

Untuk sampel AGM yang akan diujikan terlebih dahulu diperiksa untuk informasi strukturnya menggunakan mikroskop elektron. Untuk hasil dari mikroskop nya digunakan untuk menganalisa karakteristik orientasi serat dan diameter serat secara lokal pada gambar dengan daerah tertentu, lalu di buat rata-rata dari hasil pengukuran tersebut. Pengujian penyerapan ini menggunakan spesimen AGM dengan besar 32 mm X 1200 mm dan spesimen ditandai dengan pensil dengan interval 5mm untuk mengindikasikan ketinggian dari elektrolit. Spesimen AGM dipersiapkan dengan memotong sampel dengan arah mesin. Larutan elektrolit yang digunakan adalah asam sulfat (densitas =  $1.28 \text{ g cm}^{-3}$ , 4.93 M) yang diberikan pewarna oranye. Untuk viskositas dinamik dan tegangan permukaan dari larutan elektrolit dianggap 2.46 cP dan 71 mN/m. Tiap spesimen direndam kedalam spesimen kedalam larutan elektrolit lalu dicatat 24 jam dengan interval 1 jam.



**Gambar 2. 10** Grafik percobaan AGM dengan perlakuan tekanan, dengan hasil *wicking height* dan *wicking rate* untuk dua buah spesimen, (a) dan (b) [8]

Dari gambar 2.10, bisa dilihat perbedaan dari persamaan Lucas-Washburn dan modifikasi Fried dan Dreyer, dimana hasil uji coba AGM dengan tekanan plat akrilik, hasil dari eksperimen didapatkan bahwa hasil lebih sama dengan persamaan Fried dan Dryer dibandingkan dengan Lucas-Washburn, dimana persamaan Fries dan Dreyer tidak mengabaikan inersia dan gaya gravitasi yang dimana mempengaruhi aliran dari larutan. Dan pada percobaan ini dilakukan selama 24 jam, untuk persamaan lucas-Washburn akan masih sama pada percobaan dengan rentang waktu kurang dari 2 jam.

***(Halaman ini sengaja dikosongkan)***

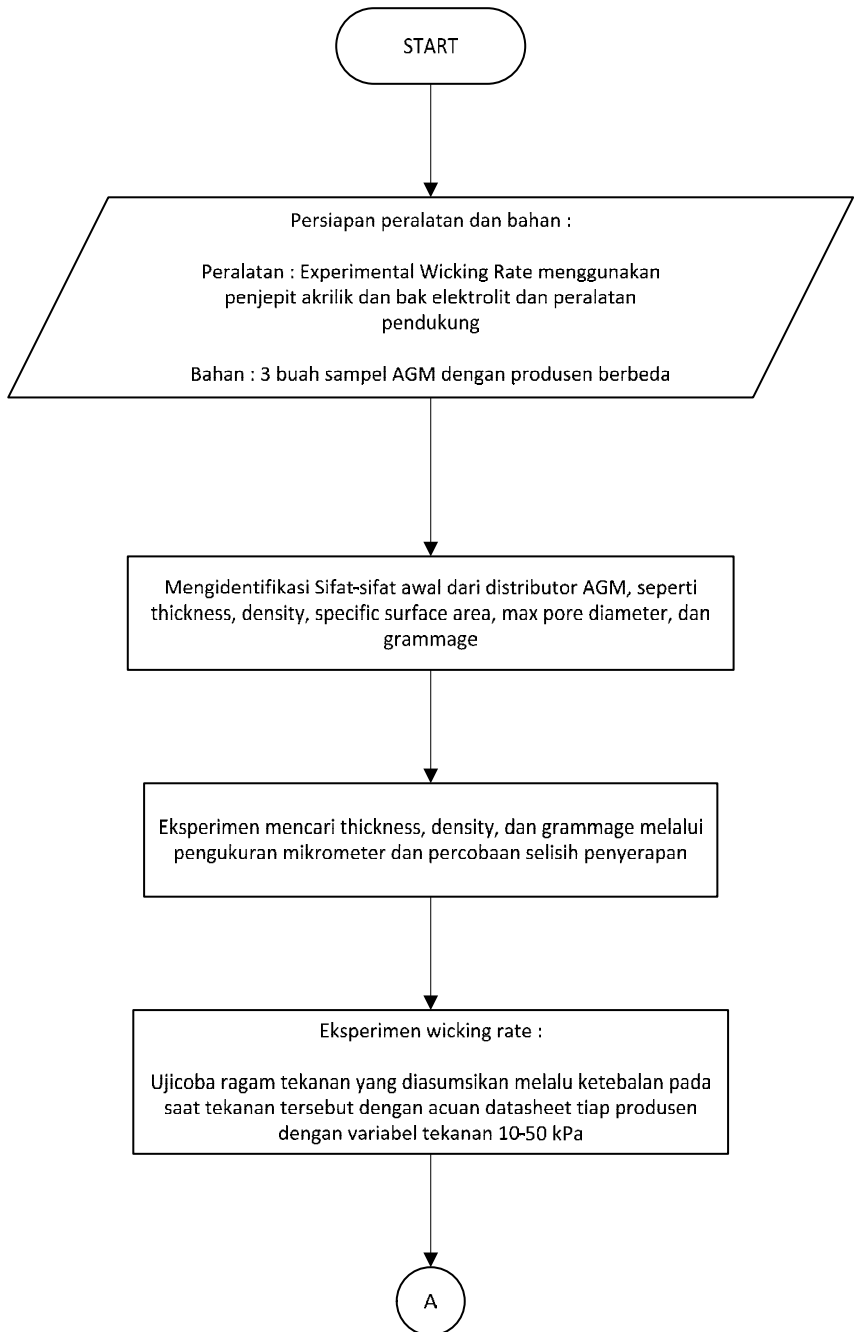


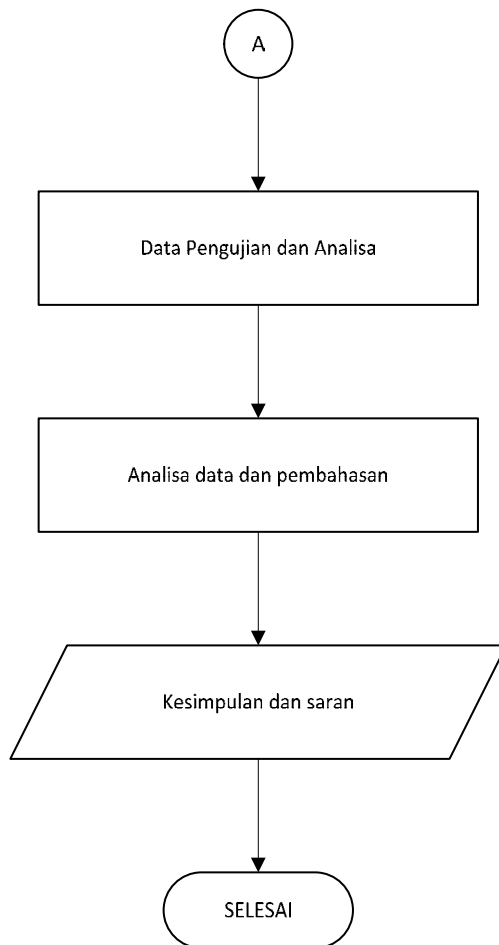
## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Diagram Alir Penelitian**

Dalam bab ini akan dijelaskan langkah-langkah yang dijadikan acuan dalam penelitian ini. Diawali dengan studi lapangan terkait permasalahan yang akan diteliti. Dilanjutkan studi literatur terkait penelitian, kemudian melakukan percobaan. Setelah melakukan percobaan, data dianalisa dan mendiskusikannya, kemudian dapat ditarik kesimpulan serta saran dari hasil penelitian ini seperti flowchart pada gambar 3.1





**Gambar 3. 1** Flowchart Penelitian.

### **3.2 Studi Literatur**

Studi Literatur digunakan sebagai ulasan terhadap buku dan jurnal yang memberikan informasi terkait pengaruh ifat-sifat

dari bahan Absorptive Glass Mat (AGM) terhadap *wicking rate* dan acid absorption pada material. Literatur utama yang dijadikan pedoman penulis berasal dari jurnal-jurnal penelitian sejenis beserta buku-buku referensi terkait dengan penelitian ini. Pada tahap ini akan didapatkan referensi literatur sebagai pendukung pemecahan permasalahan yang akan dianalisa.

### 3.3 Melakukan Percobaan

Bahan yang akan diteliti pada penelitian ini adalah AGM yang didapatkan dari Perusahaan Aki AGM ini diperoleh dari salah satu supplier AGM dari sebuah perusahaan aki. Sifat properties dari AGM yang akan diujikan melalui pengujian didapat melalui pengambilan data dari percobaan yang akan dilakukan.

#### 3.3.1 Peralatan dan Bahan yang Digunakan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. *Wicking Rate* Experimental Set
2. Penggaris ukur
3. Timbangan Digital
4. Gelas ukur
5. Pinset spesimen
6. *Stopwatch*
7. *micrometer*

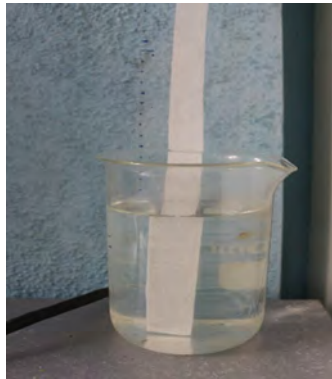
Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Larutan Asam ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 20% 1,26gr/ml
2. Air
3. 3 buah spesimen AGM dengan produsen yang berbeda

#### 3.3.2 Pengujian *Wicking Rate Set*

Untuk mengetahui ketinggian dan *wicking rate* dari AGM yang akan diujikan, dilakukan pengujian *Wicking rate set*.

Pengujian ini dilakukan dengan menempatkan AGM pada dua buah plat akrilik yang di sekrup dengan tingkat tekanan yang dapat diatur. Variasi ketebalan AGM dan tingkat tekanan AGM dengan cara mengencangkan baut hingga mendapatkan ketebalan yang diinginkan lalu diukur dengan mikrometer untuk mengukur ketebalan AGM terkompresi. Pengujian ini dilakukan di Laboratium Metalurgi Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Ilustrasi pengujian bisa dilihat pada gambar 3.2

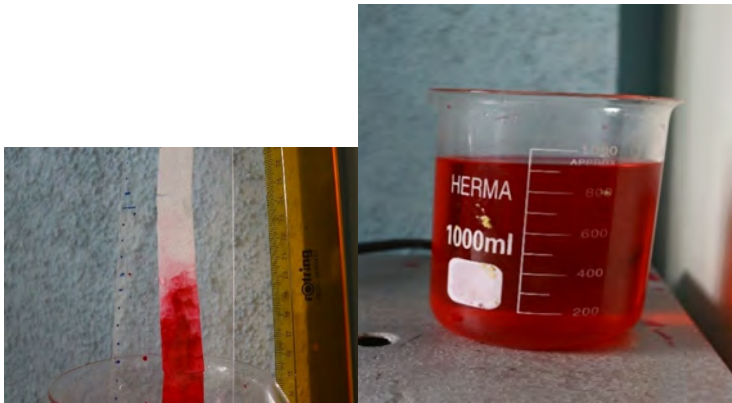


**Gambar 3. 2** Ilustrasi Alat Pengujian *Wicking Rate*.

Berikut adalah tahap pengujian *wicking rate* dan *acid absorption* :

1. ukur ketebalan spesimen awal dan berat awal spesimen.
2. bersihkan plat akrilik dari kotoran sebelum melakukan pengujian.
3. buka baut dan mur dari akrilik, masukkan spesimen AGM diantara dua buah plat akrilik.
4. kencangkan baut dan mur, sesuai dengan ketebalan diinginkan.
5. dimasukan cairan elektrolit ke dalam bak pengukuran.

6. celupkan ujung plat akrilik yang tadi sudah dimasukan spesimen ke dalam bak elektrolit dan digantung diatas bak elektrolit.
7. Siapkan *stopwatch*, liat ketinggian cairan elektrolit yang meresap pada AGM, dengan variable waktu tiap 10, 30 detik dan 1 menit hingga menit ke 5, setelah itu dengan rentang waktu 5 menit hingga 60 menit seperti gambar 3.3.
8. Setelah selesai, hitung berat dari plat yang tadi telah dicelupkan, didapatkan berat elektrolit terserap dari selisih berat awal AGM yang dihitung.
9. Lepas AGM dari akrilik dan bersihkan akrilik dari cairan elektrolit menggunakan lap.
10. Ulangi kembali hingga didapatkan data dari ketiga AGM yang diuji.



**Gambar 3. 3** (Kiri) Perhitungan ketinggian dari wicking, (Kanan) campuran  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dengan pewarna.

### **3.4 Analisa Data dan Pembahasan**

Tahap ini dilakukan penulis untuk menganalisa semua data yang didapatkan. Berdasarkan data-data tersebut kemudian diberikan pembahasan yang mendukung terkait tujuan penelitian.

### **3.5 Kesimpulan dan Saran**

Tahap ini merupakan tahap akhir dari penelitian Tugas Akhir ini. Setelah permasalahan dianalisa, maka akan dapat menjelaskan fenomena pengaruh additive carbon terhadap usia pakai baterai lead acid serta perbandingan penggunaan active carbon dengan acetylene. Berdasarkan data tersebut akan diperoleh solusi yang paling baik dan bisa dijadikan sebagai kesimpulan dari penelitian ini.

***(Halaman ini sengaja dikosongkan)***



## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Deskripsi Analisa Awal Penelitian

#### 4.1.1 Data Deskripsi AGM dari Produsen

Penelitian Ini menggunakan metode ISO 9073-6 dengan standar kondisi untuk eksperimen menggunakan ISO 139:2005. Untuk pengukuran *wicking rate* menggunakan metode kapilaritas untuk mengukur rata-rata ketinggian kapilaritas dari strip spesimen yang direndam pada cairan tes. Percobaan ini menghitung rata-rata penyerapan dari kain *Nonwoven* yang direndam tip dari strip kain tersebut ke larutan  $H_2SO_4$  dengan SG 1.260 gr/ml yang telah diberi pewarna. Sedangkan untuk *Acid Absorption* menggunakan selisih berat kosong dengan berat isi yang telah diberikan  $H_2SO_4$ .

Melalui proses eksperimen, didapatkan data ketinggian asam sulfat yang terserap pada AGM menggunakan pengukuran manual. Data yang disajikan dari hasil eksperimen tersebut disajikan dalam bentuk tabel dan grafik. Data yang dianalisis adalah *wicking height*, *wicking rate*, dan *acid absorption* dari tiap AGM yang diujikan.

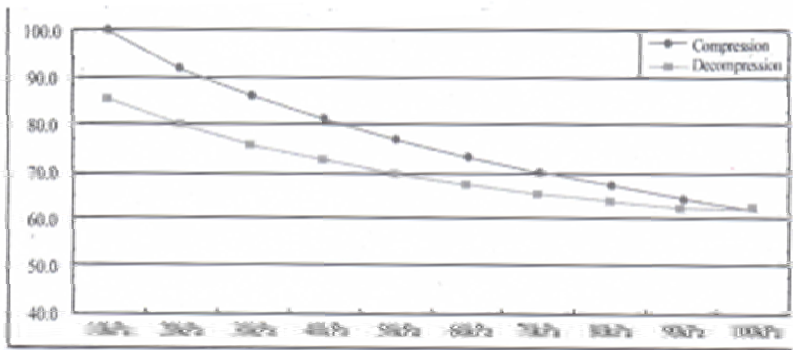
Deskripsi sifat-sifat dari AGM diketahui dari tiap produsen AGM adalah sebagai berikut:

**Tabel 4.1** Deskripsi AGM yang didapatkan dari distributor

AGM	<i>Thickness</i> (mm)	<i>density</i> (g/m <sup>3</sup> )	<i>Specific Surface Area</i> (m <sup>2</sup> /g)	<i>Max Pore Diameter</i> (μm)	<i>Grammage</i> (g/m <sup>2</sup> )
A	1,3	150	1,1	31	200
B	1,4	147	1,8	21	160
C	1,1	140	1,3	28	145

Pada tabel 4.1, terlihat perbedaan ketebalan, luas permukaan spesifik, diameter pori terbesar, dan berat basis (*grammage*) antara AGM yang diujikan dari distributor berbeda. Dengan perbedaan ini

diujikan menggunakan metode diatas, mencari ketinggian *wicking*, *wicking rate*, dan *Acid Absorption* dari AGM yang diujicobakan.



**Gambar 4.1** Besar kompresi versus penurunan persentase ketebalan didapatkan dari distributor[10].

Untuk pengukuran tekanan yang digunakan persentase penurunan ketebalan dari grafik untuk kompresi AGM pada gambar 4.1 dengan asumsi menggunakan persentase yang sama dikarenakan perbedaan ketebalan awal yang cukup kecil untuk ketiga spesimen AGM. adalah sebagai berikut:

**Tabel 4.2** Besar ketebalan spesimen uji AGM pada saat kompresi.

Distributor	Perlakuan	Tekanan (kPa)	Thickness (mm)
A	1	10	1,3
	2	20	1,183
	3	30	1,131
	4	40	1,053

	5	50	1,014
<b>B</b>	1	10	1,4
	2	20	1,274
	3	30	1,218
	4	40	1,134
	5	50	1,092
<b>C</b>	1	10	1,1
	2	20	1,001
	3	30	0,957
	4	40	0,891
	5	50	0,858

#### 4.1.2 Data Deskripsi Hasil Percobaan

Untuk mendapatkan validitas dari deskripsi yang diberikan oleh produsen AGM, maka dibutuhkan percobaan untuk mendapatkan sifat-sifat dari deskripsi, apakah sesuai dengan produsen maupun tidak. Untuk percobaan ini menggunakan perhitungan luasan dan volume dari sampel AGM yang diberikan dari *supplier* perusahaan aki untuk menghitung *Grammage* dan Densitas dari AGM yang akan diujicobakan. Untuk percobaan perhitungan besar *grammage* yaitu merupakan perbandingan antara masa total spesimen diukur dengan luas spesimen diukur. Untuk densitas, merupakan perbandingan antara volume dari spesimen AGM diuji dengan besar massa total yang diuji. Berikut adalah hasil dari eksperimen yang dilakukan :

**Tabel 4.3** Besar *Grammage* dan *Density* dari Eksperimen

distributor	Luas spesimen (cm <sup>2</sup> )	Ketebalan (mm)	massa total (gr)	<i>Grammage</i> (gr/m <sup>2</sup> )	<i>Density</i> (gr/m <sup>3</sup> )
A	600	1,3	12,0073	200,1217	153,8462
B	766,5	1,4	12,7661	167,3474	146,7960
C	480	1,1	6,9379	144,5396	138,9803

Contoh perhitungan untuk AGM A dengan menggunakan persamaan 2.7 sebagai berikut:

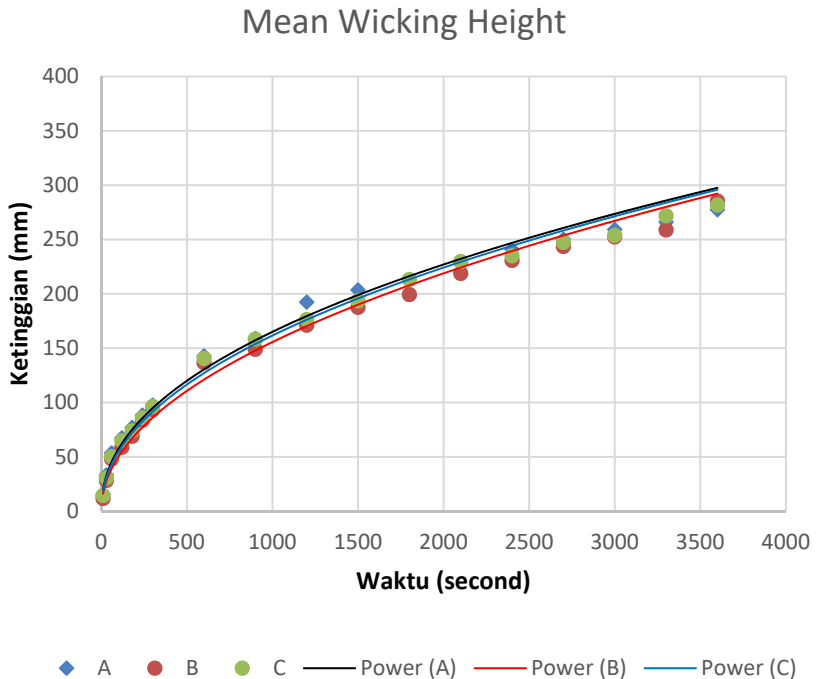
$$\begin{aligned}
 \textit{Grammage} \left( \frac{\textit{gr}}{\textit{m}^2} \right) &= \frac{\textit{Massa total AGM (gr)}}{\textit{Luas Spesimen (m}^2\textit{)}} \\
 &= \frac{12,0073 \textit{ gr}}{600 \textit{ cm}^2 \times 1000 \textit{ m}^2/\textit{cm}^2} \\
 &= 200,1217 \textit{ gr}/\textit{m}^2
 \end{aligned}$$

Dilihat dari tabel 4.3 yang merupakan deskripsi setelah pengujian, didapatkan *grammage* dan densitas setelah diuji, didapatkan nilai dengan persentase error kurang dari 5% dari pengujian *grammage* dan densitas maka dapat dikatakan bahwa deskripsi dari produsen AGM merupakan data valid yang nantinya dilanjutkan ke percobaan selanjutnya, yaitu *wicking measurement*.

## 4.2 Analisa Data Percobaan *Wicking Measurement*

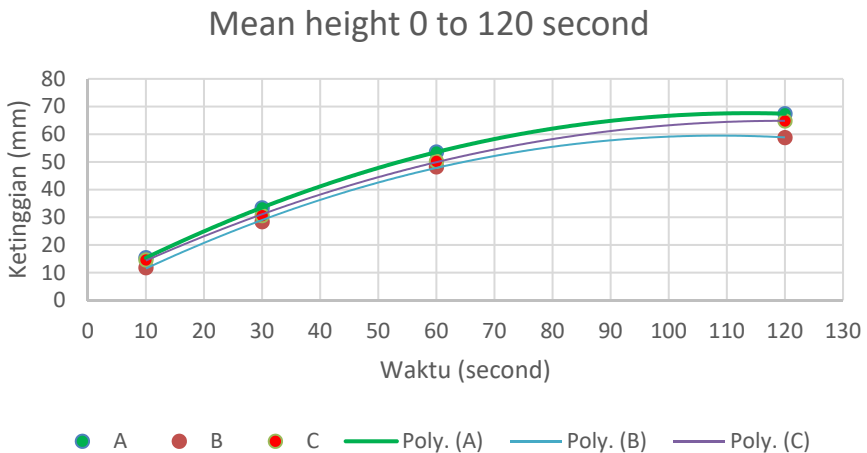
### 4.2.1 Mean *Wicking height* Spesimen AGM

Dari eksperimen didapatkan nilai ketinggian *wicking* pada tiap kompresi dari 10-50 kPa, terjadi perbedaan tingkat ketinggian *wicking* pada tiap nilai kompresi, tetapi terjadi keidentikan pada ketinggian *wicking* antara spesimen. Untuk membandingkan secara *overall performance*, digunakan nilai rata-rata antara kompresi 10-50 kPa. berikut adalah hasil data rata-rata ketinggian *wicking* spesimen AGM dengan rentang waktu pengambilan data 0 hingga 3600 detik.



**Gambar 4.2** Mean *Wicking height* vs waktu (0-3600 detik) ketiga spesimen AGM

Terlihat dari grafik pada gambar 4.2 untuk hasil rata-rata dari kelima kompresi tiap spesimen AGM menunjukkan kecenderengunan memiliki perbedaan yang sangat sedikit. Besar *wicking height* mulai dari yang terbesar hingga terkecil adalah A, C, dan yang terakhir adalah B. Dari grafik diatas 0-3600 detik untuk pengukuran permenit dari 0-5 menit dan pengukuran per 5 menit dari menit ke 5 hingga menit 60. Jika dijabarkan menjadi data terkecil, maka dapat terlihat perbedaan dari ketiga buat AGM ini.

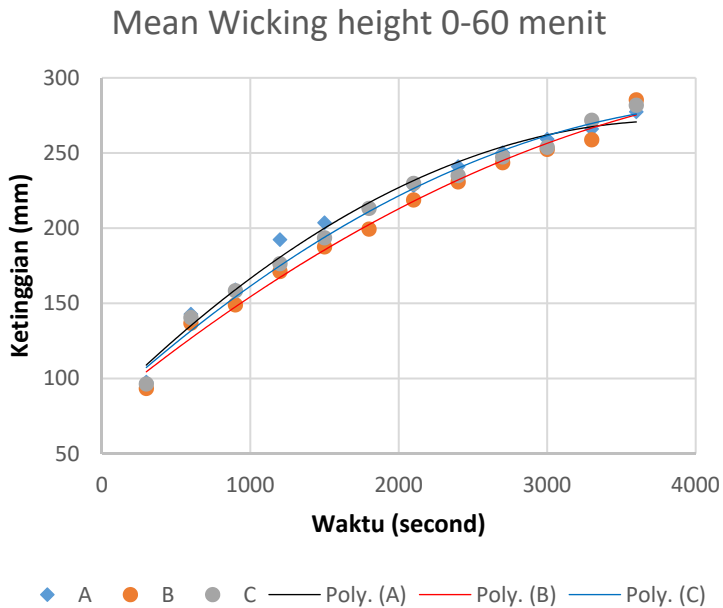


**Gambar 4.3** Mean *Wicking height* vs waktu (0-120 detik) ketiga spesimen AGM

Gambar 4.3 merupakan hasil penjabaran dari data eksperimen yang telah dilakukan, perlakuan dari waktu 0-120 detik dan perlakuan dari 5 menit ke 60 menit dengan variasi pengambilan data per waktu.

Dari hasil uji eksperimen untuk waktu 0-120 detik dengan rentang pengambilan tiap 10, 30, 60, dan 120 detik, dapat terlihat

perbedaan besar ketinggian *wicking* dari ketiga buah spesimen AGM tersebut dimana A memiliki besar ketinggian yang paling besar yaitu , selanjut nya AGM dari C yang memiliki besar ketinggian . dan yang terakhir adalah B yaitu :



**Gambar 4.4** Mean *Wicking height* vs waktu (5-60 menit) ketiga spesimen AGM

Dilihat pada gambar 4.4 untuk hasil grafik dengan rentang waktu 0-60 menit dengan rentang pengambilan data tiap 5 menit, dapat terlihat terjadi perubahan selisih posisi ketinggian pada ketiga buah AGM yang diuji. Yang terlihat adalah trendline spesimen B yang cenderung naik dari posisi akhir ketinggian *wicking* menjadi yang lebih besar ketinggiannya dibandingkan dengan ketiga buah spesimen AGM. Titik terjadinya perubahan tersebut pada detik ke 3300, dengan kenaikan B dan pertanda

bahwa AGM B tetap mempertahankan kapasitas AGM dan terus terjadi kenaikan *wicking*, berbeda dengan AGM A dan C yang cenderung mengalami penurunan.

#### 4.2.2 Mean *Wicking rate* Spesimen AGM

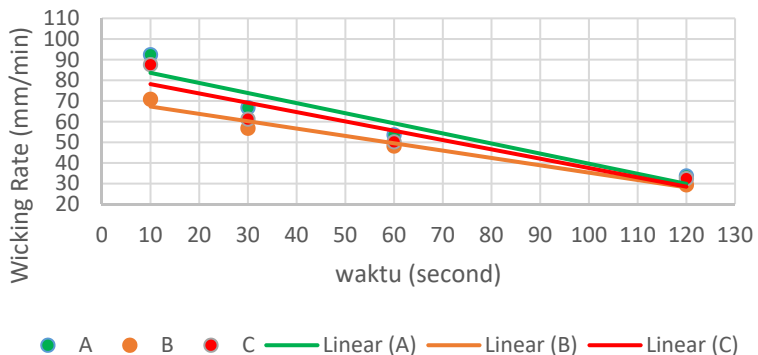
Pada percobaan *wicking rate* spesimen AGM, dicari *wicking rate* dengan menggunakan perbandingan ketinggian penyerapan AGM dengan waktu per menit.

Contoh perhitungan *Wicking Rate* AGM A pada Tekanan 10 kPa pada detik ke 60 dengan menggunakan persamaan 2.6:

$$\begin{aligned} \text{Wicking Rate}(\text{mm}/\text{min}) &= \frac{\text{wicking height (mm)} \times 60 \text{ sec}}{\text{Waktu pengambilan (sec)}} \\ &= \frac{57 \text{ mm} \times 60 \text{ sec}}{60 \text{ sec}} \\ &= 57 \text{ mm}/\text{min} \end{aligned}$$

Setelah itu digunakan rata-rata dari kelima variasi kompresi, didapatkan data grafik. Untuk memperjelas perbedaan ketiga spesimen, maka disajikan data grafik antara 0-120 detik dan 5-60 menit.

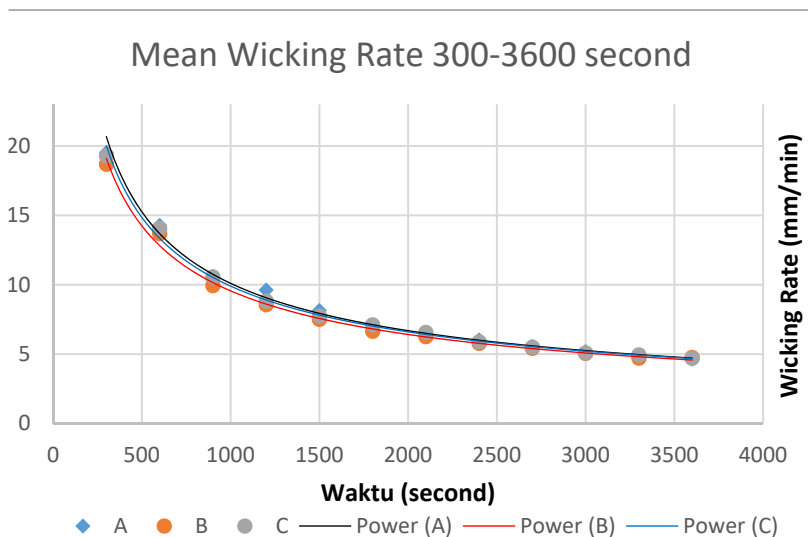
Mean *Wicking rate* 0 to 120 second



**Gambar 4.5** Mean *Wicking rate* vs waktu (0-120 detik) ketiga spesimen AGM



Grafik dari eksperimen dapat dilihat pada gambar 4.5. Dari hasil uji eksperimen untuk waktu 0-120 detik dengan rentang pengambilan tiap 10, 30, 60, dan 120 detik, dapat terlihat perbedaan besar *wicking rate* dari ketiga buah spesimen AGM tersebut dimana A memiliki besar ketinggian yang paling besar yaitu 120 mm/min, selanjut nya AGM dari C yang memiliki besar ketinggian 108 mm/min. dan yang terakhir adalah B yaitu 90 mm/min.



**Gambar 4.6** mean *wicking rate* vs waktu dalam 300-3600 detik

Pada gambar 4.6 hasil grafik dengan rentang waktu 5-60 menit dengan rentang pengambilan data tiap 5 menit, dapat terlihat terjadi perubahan selisih posisi ketinggian pada ketiga buah AGM yang diuji. Yang terlihat adalah trendline spesimen B yang cenderung naik dari posisi akhir ketinggian *wicking* menjadi yang lebih besar ketinggiannya dibandingkan dengan ketiga buah spesimen AGM.

#### 4.2.3 Mean *Acid Absorption* Spesimen AGM

Untuk pengujian *Acid Absorption* menggunakan pengujian ISO 9073-6:2000 *Acid Absorption* atau besarnya penyerapan air aki didapatkan dari eksperimen *wicking* dengan metode perbedaan berat awal pada saat kosong dengan persentase kelembapan AGM kurang dari 5% dengan berat AGM yang sudah direndam dengan air aki, lalu didapatkan nilai perbandingannya.

Contoh Perhitungan *Acid Absorption* untuk AGM A dengan tekanan 10 kPa menggunakan persamaan 2.8 :

$$\begin{aligned} \text{Acid Absorption} \left( \frac{\text{gr}}{\text{gr}} \right) &= \frac{\text{Berat Liquid Terserap (gr)}}{\text{Berat Kosong (gr)}} \\ &= \frac{17,8895}{1,992} \\ &= 8,9616 \text{ gr/gr} \end{aligned}$$

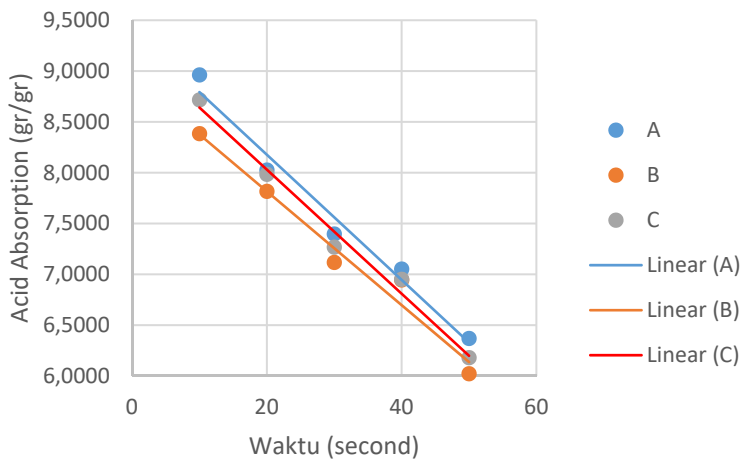
Berikut adalah hasil dari eksperimen yang telah dilakukan :

**Tabel 4.4** Nilai *Acid Absorption* tiga spesimen AGM

Distributor	Tekanan	Berat Kosong	Berat isi	Berat liquid terserap	<i>Acid Absorption</i>
A	10	1,9962	19,8857	17,8895	8,9616
	20		18,0174	16,0212	8,0257
	30		16,7612	14,7650	7,3964
	40		16,0735	14,0773	7,0519
	50		14,7109	12,7147	6,3694
B	10	1,6134	15,1398	13,5264	8,3837
	20		14,2241	12,6107	7,8162
	30		13,0956	11,4822	7,1167
	40		12,8173	11,2039	6,9442
	50		11,3291	9,7157	6,0218
C	10	1,4454	14,0432	12,5978	8,7158
	20		12,9854	11,5400	7,9840

	30		11,9498	10,5044	7,2675
	40		11,4925	10,0471	6,9511
	50		10,3782	8,9328	6,1802

### Acid Absorption



**Gambar 4.7** Grafik perbandingan *Acid Absorption* spesimen uji AGM.

Untuk data penyerapan *Acid Absorption* terdapat pada tabel 4. Pada gambar 4.7 memperlihatkan besaran penyerapan elektrolit yang terjadi memiliki perbedaan antara A, B, dan C. Secara perbandingan grafik, A mempunyai nilai penyerapan terbesar, yang kedua adalah C, dan yang terakhir adalah B. Untuk *Acid Absorption* terbesar A memiliki perbandingan penyerapan elektrolit dengan berat kosong sebesar 8,9616 pada kompresi 10 kPa dan penyerapan terkecil terjadi pada AGM B pada tekanan 50 kPa sebesar 6,0218.

### **4.3 Analisa Possibilitas Perbedaan *Wicking height*, *Wicking rate*, dan *Acid Absorption* AGM**

#### **4.3.1 Pengaruh Efek Variasi Kompresi Terhadap *Wicking height*, *Wicking rate*, dan *Acid Absorption***

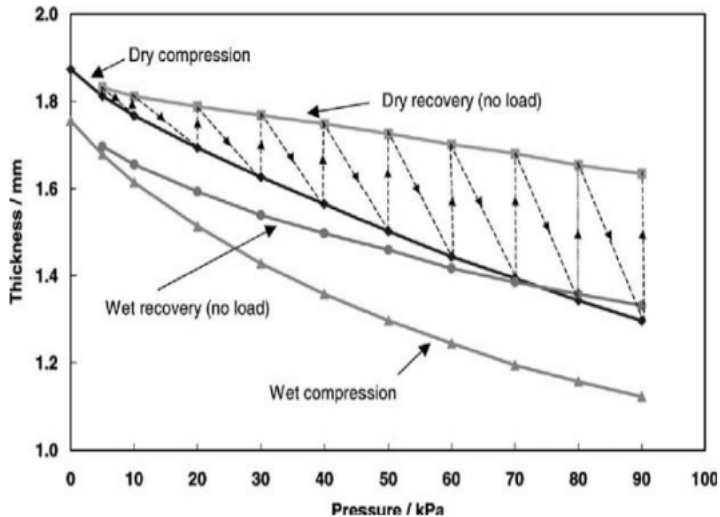
Glass Separator Mat sangat mudah terkompresi dan sifatnya yang menempel pada dinding permukaan plat pada berada di dalam aki. Akan tetapi, perubahan volume plat bisa terjadi pada saat siklus charge-discharge, sehingga dapat menyebabkan kehilangan kompresibilitas. Selain itu kemungkinan dapat terjadi peluruhan serat halus separator yang juga memiliki efek buruk dari karakteristik kompresi yang terjadi pada separator di aki.

Pemberian kompresi dengan tekanan tertentu menyebabkan pori pada bidang x dan y menyempit, menyebabkan pengaruh pada ketinggian *wicking*, karena semakin kecil pori, semakin lambat separator dalam menyerap elektrolit, tetapi karena densitas dari AGM akibat pengurangan volume gas dalam separator menyebabkan kemampuan AGM untuk menahan elektrolit lebih baik dibandingkan tanpa kompresi.

Terlihat dari eksperimen diatas, penggunaan kompresi menghasilkan perbedaan *wicking rate*, *wicking height*, dan acid absorption tersebut, dengan kondisi awal normal, tanpa adanya perubahan volume plat antara separator. Perilaku separator AGM saat didalam komprepsi tergantung dari parameter termasuk bahan, rasio halus hingga kasarnya serat, berat basis, dan luas permukaan seperti gambar 4.10 dan gambar 4.11. Kurva kompresi untuk separator harus dimasukkan dalam mendesain baterai untuk memberikan performa dan umur yang baik dalam pengaplikasian tersebut.

Dilihat dari gambar 4.8, untuk pengaplikasian kompresi diatas 10 kPa, ketebalan separator berkurang diiringi dengan penambahan beban gaya yang diaplikasikan. Lalu saat tekanan dilepaskan, separator cenderung tidak kembali ke ketebalan awal, kering maupun saat kondisi basah. Penggunaan variabel 10-50 kPa dikarenakan variasi kompresi yang sering digunakan pada produksi aki VRLA. Pada eksperimen ini terlihat perbedaan dari besar 3

komponen yang dicari yaitu *wicking height*, *wicking rate*, dan *Acid Absorption*.

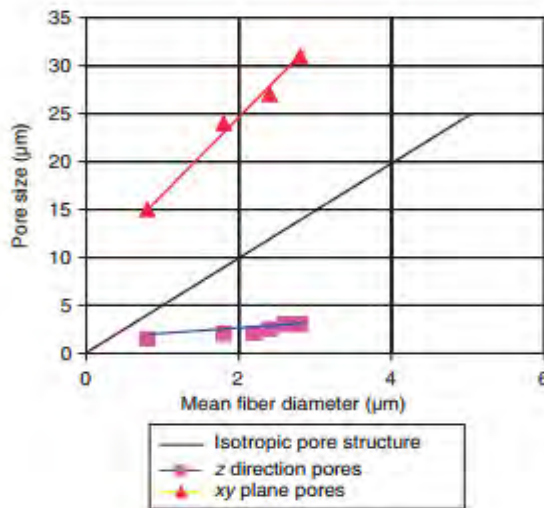


**Gambar 4.8** Kompresi vs tekanan yang diaplikasikan untuk semua glass separator. Garis titik-titik merupakan titik *recovery thickness*.

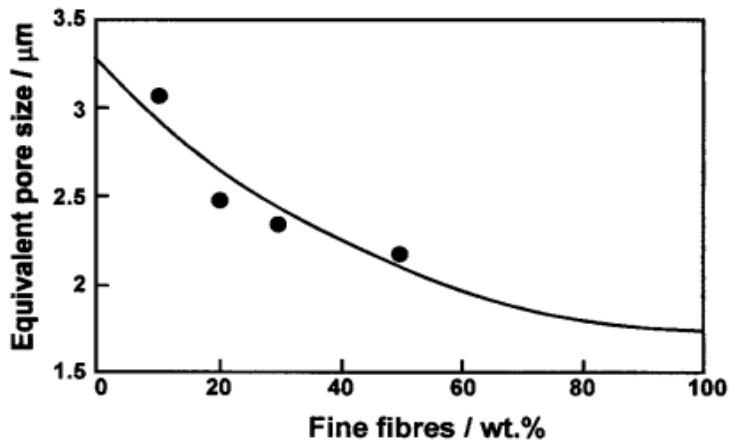
#### 4.3.2 Pengaruh besar diameter Pori terhadap *Wicking height*, *Wicking Rate*, dan *Acid Absorption*

Tiap separator AGM memiliki ciri besar pori, dari besar rata-rata hingga maksimal besar diameter pori. Variasi besar pori ini berpengaruh dalam performa separator. Menurut Culpin dan Hayman [1] sistem kapilaritas pada media berpori melibatkan fasa padat dan kurang lebih 2 fasa cair ( oksigen/udara dan  $H_2SO_4$ ). Hubungan dengan fasa padat dan cair dihubungkan dengan tegangan permukaan. Elektrolit cenderung membuat suatu layer/lapisan pada serat kaca maupun fasa gas yang terdapat pada separator. Untuk meminimalkan area kontak dengan fasa gas, cairan harus cenderung terekspos dengan fasa padat. Semakin besar pori pada separator, ruang gas dalam pori semakin besar,

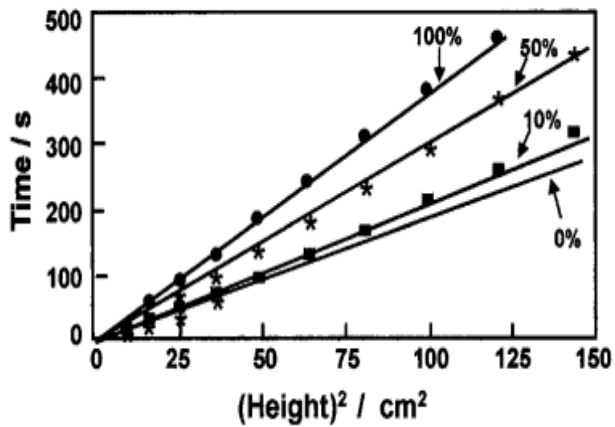
semakin cenderung elektrolit terikat pada gas. Akibatnya semakin mudah terjadi pengurangan kapasitas elektrolit pada separator. secara teori, seperti pada gambar 4.9 Setelah dilakukan percobaan dengan menggunakan variabel besar kompresi, seharusnya semakin besar kompresi, semakin kecil nilai wicking height dan rate nya, dan juga semakin kecil nilai absorpsi akibat pengurangan volume void pada separator tetapi semakin menambah kapasitas penyimpanan elektrolit. pada eksperimen terjadi fenomena tersebut antara 10-50 kPa terjadi pengurangan ketinggian, rata-rata wicking, dan acid absorption tetapi penyimpanan semakin bertambah dengan ditandai pengurangan ketinggian pada awal wicking (10-120 detik) lalu penambahan wicking (3000 detik-seterusnya).



**Gambar 4.9** Besar diameter pori pada bidang x, y, dan z [3]



**Gambar 4.10** Perbandingan besar pori terhadap kehalusan serat dalam persentase[5].



**Gambar 4.11** Perbandingan kehalusan serat terhadap besar ketinggian per waktu [5].

Dilihat dari fenomena eksperimen yang telah dilakukan, bahwa terjadi penurunan *wicking height* maupun *wicking rate* pada waktu tertentu. Fenomena ini diakibatkan oleh kemampuan elektrolit dalam mempertahankan ketinggian melawan gaya gravitasi, karena akibat kurangnya luas permukaan sehingga aplikasi tegangan permukaan semakin sedikit. Fenomena ini dapat merugikan dalam aki, kemungkinan yang terjadi akibat kehilangan kapasitas penyerapan pada separator AGM, untuk AGM B dengan memiliki besar pori yang kecil, sehingga fenomena yang terjadi adalah besar penyerapan awal yang lebih kecil dibandingkan ketiga lainnya, tetapi saat waktu tertentu meningkat akibat persentase kehalusan serat yang lebih besar dibandingkan yang lain.

Fenomena ini memberikan pilihan dalam memilih AGM yang lebih baik yaitu menggunakan AGM yang cenderung memiliki kemampuan mempertahankan penyerapan lebih tinggi dan tingkat penyerapan *Acid Absorption* yang tinggi, sehingga didapatkan proporsi yang baik untuk kedua tersebut.



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil analisa eksperimen spesimen AGM dari sebuah industri aki, berdasarkan studi literatur, analisa data dan pengujian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Hasil dari eksperimen *wicking measurement* ketiga separator AGM dari industri aki menunjukkan kecenderungan *wicking height* lebih besar dengan variabel kompresi 10-50 kPa pada AGM A, yang kedua adalah C, dan yang terakhir adalah B sebesar 57, 54, dan 50 pada posisi detik ke 60. Tetapi terjadi kecenderungan penurunan pada detik ke-3300 sehingga posisi *wicking height* setelah detik tersebut berubah, menjadi B, C, dan yang terakhir A dengan nilai rata-rata setelah 3600 detik sebesar 285,4 untuk B, 281,8 untuk C, dan 277,4 untuk A.
2. Perbandingan *wicking rate* dari percobaan *wicking measurement* dengan variabel kompresi 10-50 kPa pada ketiga separator AGM menunjukkan perbedaan *wicking rate* dengan *wicking rate* paling tinggi adalah A sebesar 57 mm/min, lalu C sebesar 54 mm/min, dan terakhir B sebesar 50 mm/min pada detik 60 dengan kompresi 10 kPa.
3. Perbandingan *Acid Absorption* dari eksperimen menunjukkan perbedaan dengan penyerapan terbesar pada 10 kPa untuk AGM A sebesar 8,9616 gr/gr dan yang terkecil adalah AGM B pada 50 kPa dengan besar 6,0218 gr/gr
4. Variasi kompresi 10-50 kPa dengan kenaikan kompresi menyebabkan pengurangan besar pori pada AGM yang menyebabkan kemampuan mempertahankan elektrolit semakin besar, tetapi kemampuan penyerapan semakin kecil, ditandai dengan fenomena pengurangan *wicking rate* pada awal 10-120 detik dan penambahan selisih pada detik 3000 dan seterusnya.

## 5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan kepada pihak perusahaan aki adalah sebagai berikut:

1. Dalam ketiga spesimen AGM yang diuji, untuk pemilihan pemakaian spesimen dengan mempertimbangkan *wicking rate*, *wicking height*, dan *Acid Absorption* adalah dengan menggunakan AGM A, dibandingkan dengan ketiga buah AGM tersebut.
2. Untuk pemilihan *overall performance* dapat mempertimbangkan pemilihan AGM C dengan alasan kestabilan *wicking rate* dalam pemakaian dibandingkan dengan ketiga AGM tersebut.
3. Sebagai pertimbangan pemilihan AGM, dapat dilihat properties yang diberikan pada distributor, dengan mempertimbangkan besar diameter pori, *specific surface area*, *density* dan *grammage* pada pemilihan AGM, karena faktor tersebut mempengaruhi performa dari separator AGM.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Culpin, B., Peters, K., 2005. "Saturation influences on the performance of valve regulated lead acid batteries", **Journal Power Sources** 144, 313-321.
- [2] Database PT. Indobatt Industri Permai Krian, Jawa Timur.
- [3] Garche, Jurgen dan Dryer, Chris. 2009. **Encyclopedia of Electrochemical Power Sources**. Elsevier B.V.
- [4] Lucas, R., 1918. "Rate of capillary ascension of liquids". **Colloid Interface Science** Z 23, 15-22.
- [5] Moseley, Patrick. 2004. **Valve-regulated Lead-Acid Batteries**. Elsevier B.V.
- [6] N. Fries, M. Dreyer, 2008. "An analytic solution of capillary rise restrained by gravity", **J. Colloid Interface Science** 320, 259-263.
- [7] Pavlov, Detchko. 2011. **Lead-Acid Batteries: Science and Technology**. Elsevier B.V.
- [8] Rawal, Amit., Rao, Kameswara., and Kumar, Vijay. November 2016. "Amplification of electrolyte uptake in the absorptive glass mat (AGM) separator for valve regulated lead acid (VRLA) batteries". **Journal of Power Source** 341. 19-17.
- [9] Washburn, E., 1921. "The dynamics of capillary flow". **Physic Review** 17, 273.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## LAMPIRAN

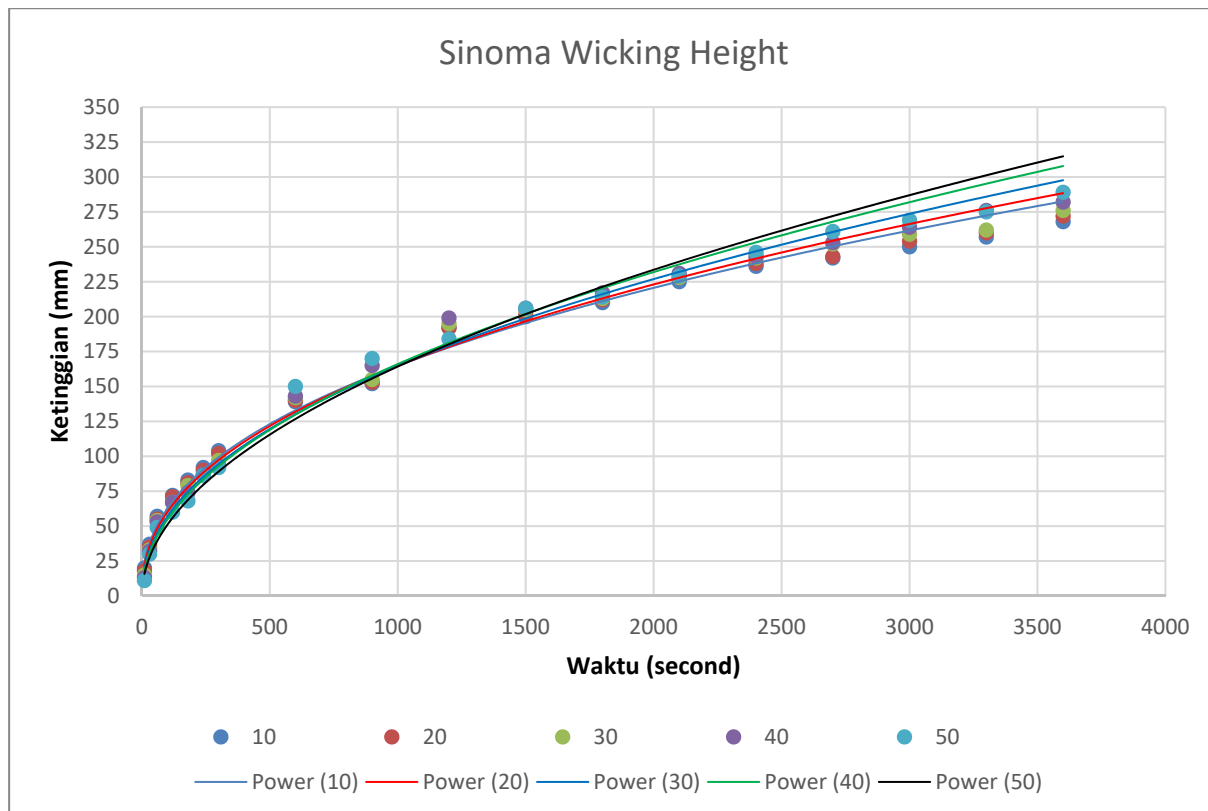
		Waktu (second)																	
Distributor	Tekanan	10	30	60	120	180	240	300	600	900	1200	1500	1800	2100	2400	2700	3000	3300	3600
A	10 kPa	20	37	57	72	83	92	104	139	152	192	200	210	225	236	242	250	257	268
	20 kPa	18	35	55	71	81	90	102	140	153	192	201	212	228	238	243	254	260	272
	30 kPa	15	33	54	67	79	87	97	142	155	195	205	213	228	242	252	259	262	276
	40 kPa	13	32	53	67	74	87	93	143	165	199	206	217	231	243	253	264	276	282
	50 kPa	11	30	49	60	68	86	92	150	170	184	206	214	229	246	261	269	275	289
B	10 kPa	15	34	50	65	78	87	98	129	142	166	181	193	211	223	236	242	250	275
	20 kPa	14	33	49	62	71	85	95	133	144	167	183	195	212	225	240	248	254	280
	30 kPa	11	27	49	57	67	83	93	138	144	169	187	200	219	231	244	253	259	288
	40 kPa	10	25	48	56	65	82	91	140	150	181	192	205	229	241	247	260	267	290
	50 kPa	9	23	45	54	64	82	90	144	165	173	195	204	223	234	251	259	264	294
C	10 kPa	18	37	54	70	82	91	103	134	153	172	186	206	224	229	236	246	260	270
	20 kPa	17	35	53	68	81	89	101	135	154	174	188	209	227	231	237	247	265	277
	30 kPa	15	29	49	66	71	85	95	140	155	175	194	211	228	234	240	252	275	283
	40 kPa	13	27	48	63	69	83	92	144	162	182	201	222	238	243	262	263	281	288
	50 kPa	10	25	47	57	67	82	91	150	168	179	199	218	232	238	262	261	278	291

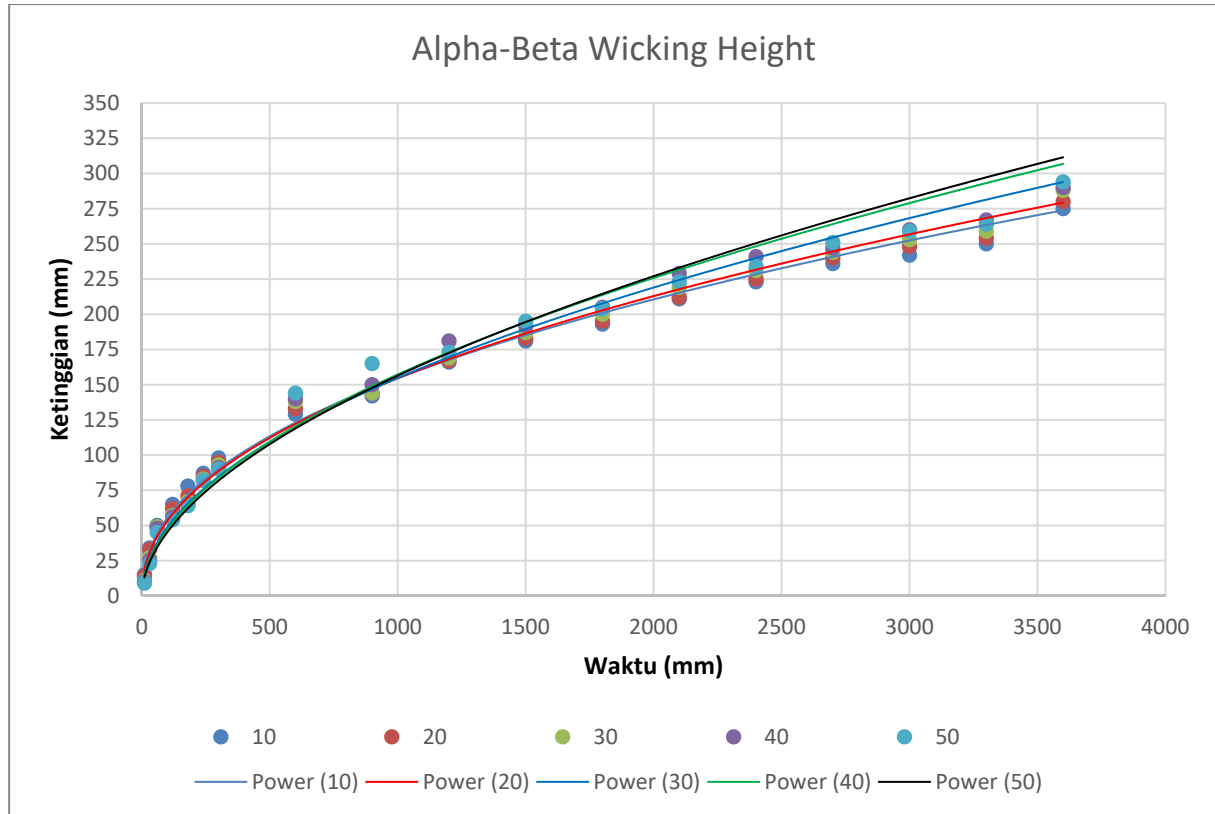
Mean Value Wicking Height																		
AGM	10	30	60	120	180	240	300	600	900	1200	1500	1800	2100	2400	2700	3000	3300	3600
A	15,4	33,4	53,6	67,4	77	88,4	97,6	142,8	159	192,4	203,6	213,2	228,2	241	250,2	259,2	266	277,4
B	11,8	28,4	48,2	58,8	69	83,8	93,4	136,8	149	171,2	187,6	199,4	218,8	230,8	243,6	252,4	258,8	285,4
C	14,6	30,6	50,2	64,8	74	86	96,4	140,6	158,4	176,4	193,6	213,2	229,8	235	247,4	253,8	271,8	281,8

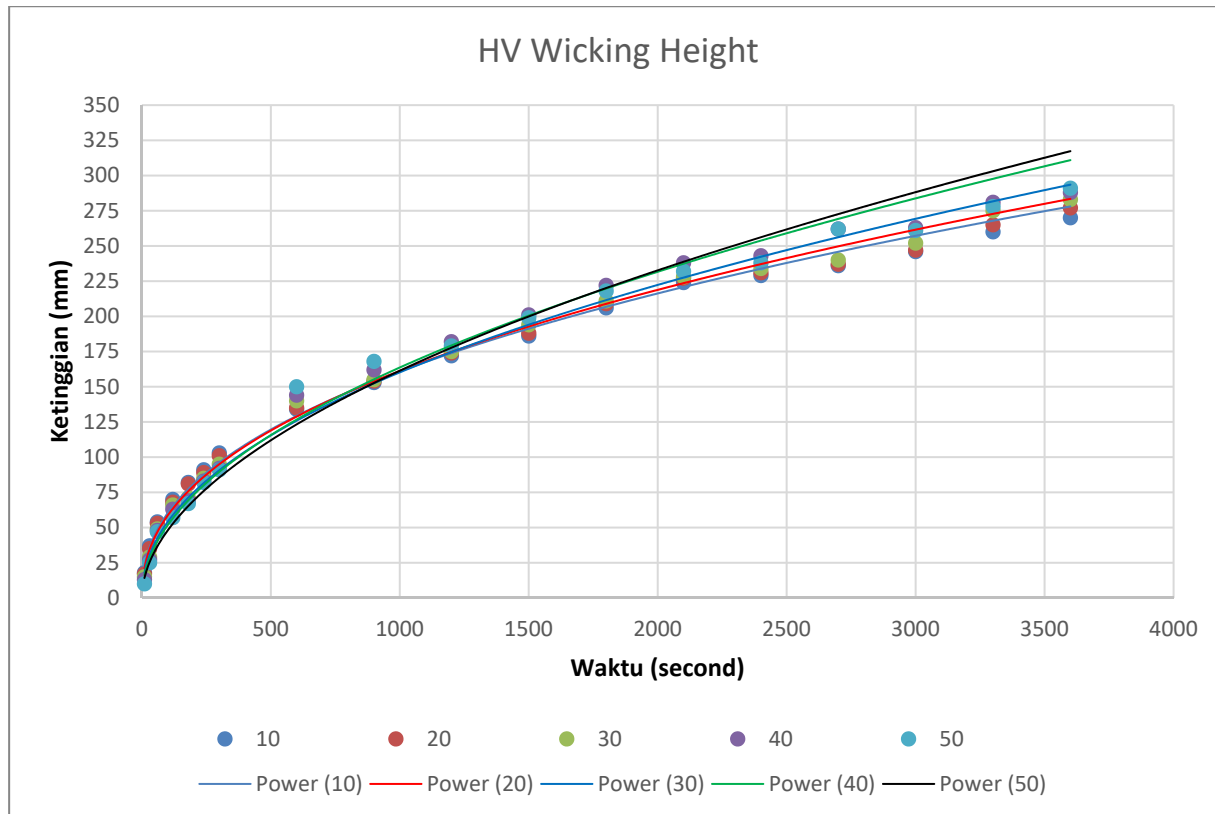
Wicking Rate		Waktu (second)																	
Distributor	Tekanan	10	30	60	120	180	240	300	600	900	1200	1500	1800	2100	2400	2700	3000	3300	3600
A	10 kPa	120	74	57	36	27,66667	23	20,8	13,9	10,1333	9,6	8	7	6,4286	5,9	5,3778	5	4,6727	4,4667
	20 kPa	108	70	55	35,5	27	22,5	20,4	14	10,2	9,6	8,04	7,0667	6,5143	5,95	5,4	5,08	4,7273	4,5333
	30 kPa	90	66	54	33,5	26,33333	21,75	19,4	14,2	10,3333	9,75	8,2	7,1	6,5143	6,05	5,6	5,18	4,7636	4,6
	40 kPa	78	64	53	33,5	24,66667	21,75	18,6	14,3	11	9,95	8,24	7,2333	6,6	6,075	5,6222	5,28	5,0182	4,7
	50 kPa	66	60	49	30	22,66667	21,5	18,4	15	11,3333	9,2	8,24	7,1333	6,5429	6,15	5,8	5,38	5	4,8167
B	10 kPa	90	68	50	32,5	26	21,75	19,6	12,9	9,46667	8,3	7,24	6,4333	6,0286	5,575	5,2444	4,84	4,5455	4,5833
	20 kPa	84	66	49	31	23,66667	21,25	19	13,3	9,6	8,35	7,32	6,5	6,0571	5,625	5,3333	4,96	4,6182	4,6667
	30 kPa	66	54	49	28,5	22,33333	20,75	18,6	13,8	9,6	8,45	7,48	6,6667	6,2571	5,775	5,4222	5,06	4,7091	4,8
	40 kPa	60	50	48	28	21,66667	20,5	18,2	14	10	9,05	7,68	6,8333	6,5429	6,025	5,4889	5,2	4,8545	4,8333
	50 kPa	54	46	45	27	21,33333	20,5	18	14,4	11	8,65	7,8	6,8	6,3714	5,85	5,5778	5,18	4,8	4,9
C	10 kPa	108	74	54	35	27,33333	22,75	20,6	13,4	10,2	8,6	7,44	6,8667	6,4	5,725	5,2444	4,92	4,7273	4,5
	20 kPa	102	70	53	34	27	22,25	20,2	13,5	10,2667	8,7	7,52	6,9667	6,4857	5,775	5,2667	4,94	4,8182	4,6167
	30 kPa	90	58	49	33	23,66667	21,25	19	14	10,3333	8,75	7,76	7,0333	6,5143	5,85	5,3333	5,04	5	4,7167
	40 kPa	78	54	48	31,5	23	20,75	18,4	14,4	10,8	9,1	8,04	7,4	6,8	6,075	5,8222	5,26	5,1091	4,8
	50 kPa	60	50	47	28,5	22,33333	20,5	18,2	15	11,2	8,95	7,96	7,2667	6,6286	5,95	5,8222	5,22	5,0545	4,85

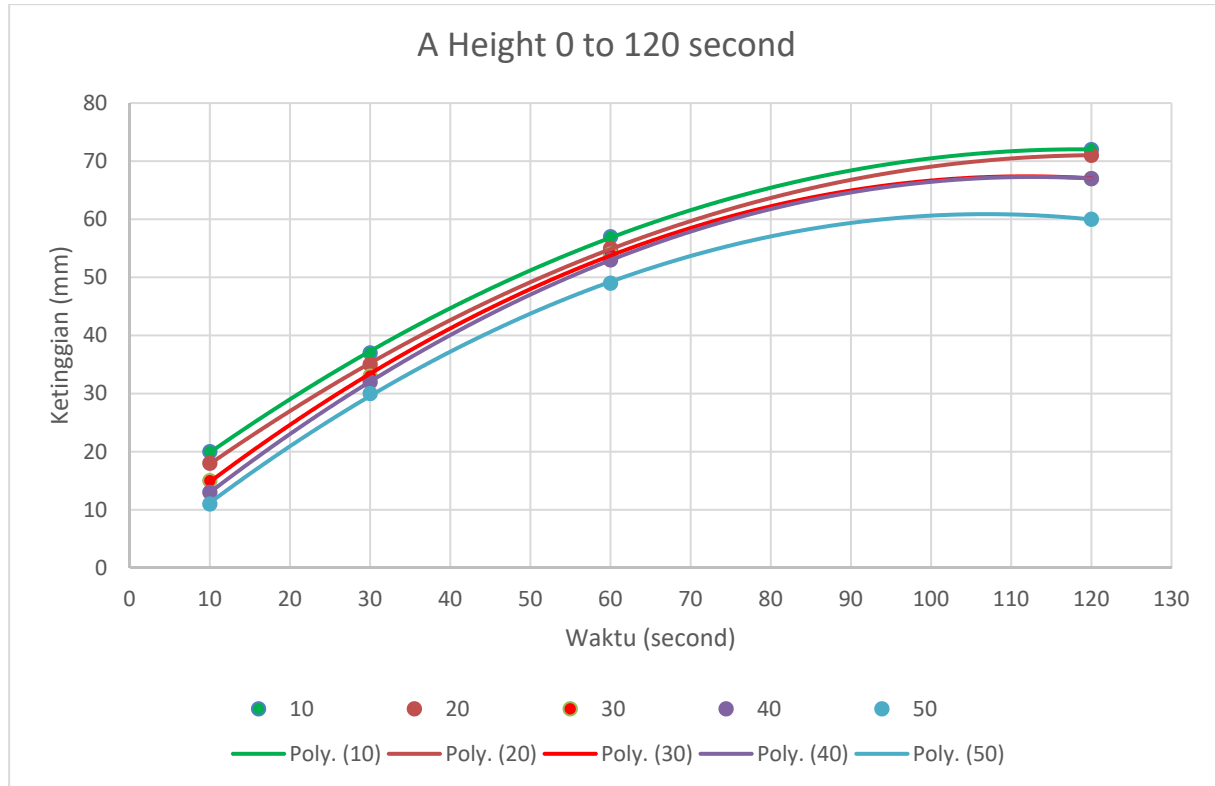
Mean Value Wicking Rate																		
AGM	10	30	60	120	180	240	300	600	900	1200	1500	1800	2100	2400	2700	3000	3300	3600
A	92,4	66,8	53,6	33,7	25,7	22,1	19,5	14,28	10,6	9,62	8,144	7,1067	6,52	6,025	5,56	5,184	4,836	4,623
B	70,8	56,8	48,2	29,4	23	20,95	18,7	13,68	9,933	8,56	7,504	6,6467	6,251	5,77	5,413	5,048	4,705	4,757
C	87,6	61,2	50,2	32,4	24,7	21,5	19,3	14,06	10,56	8,82	7,744	7,1067	6,566	5,875	5,498	5,076	4,942	4,697

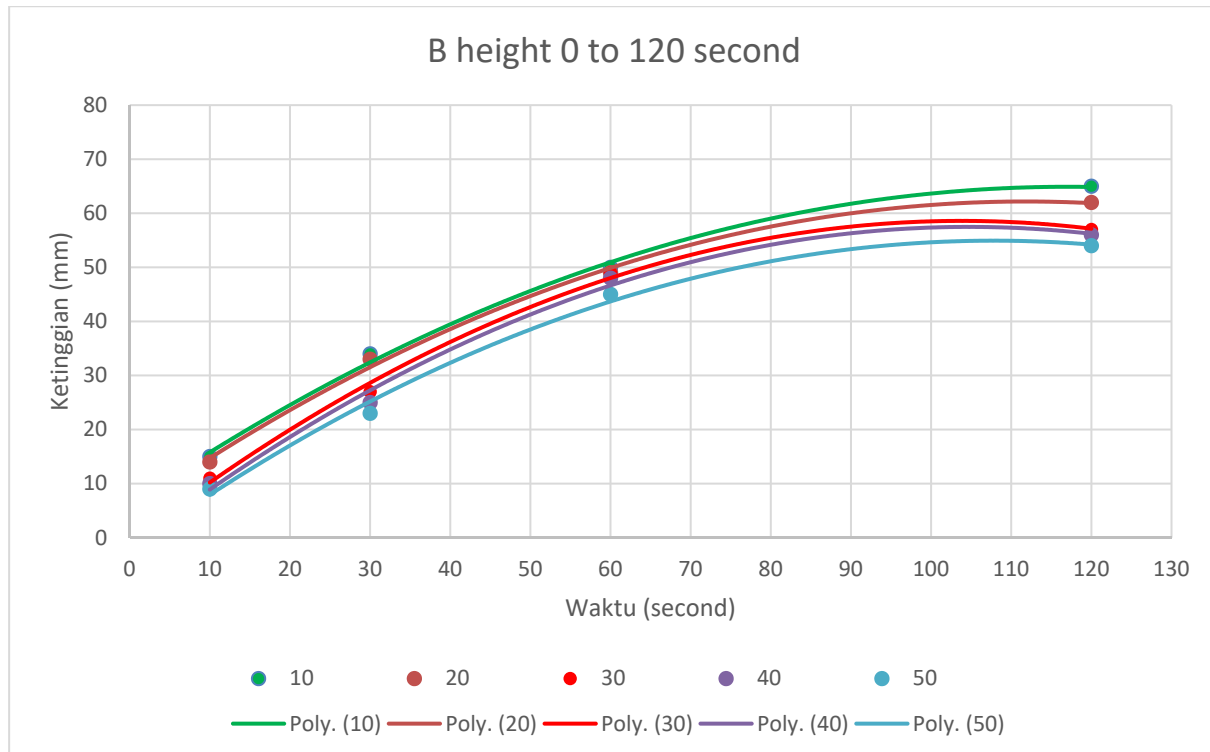


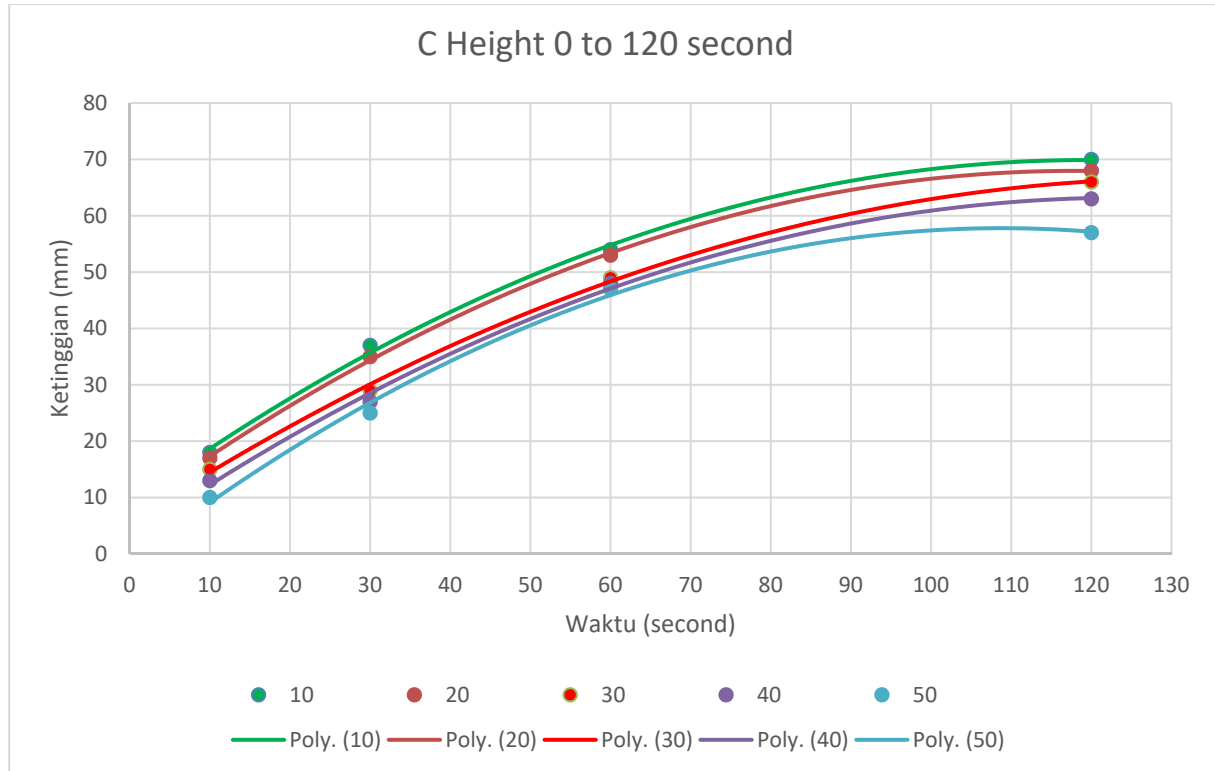


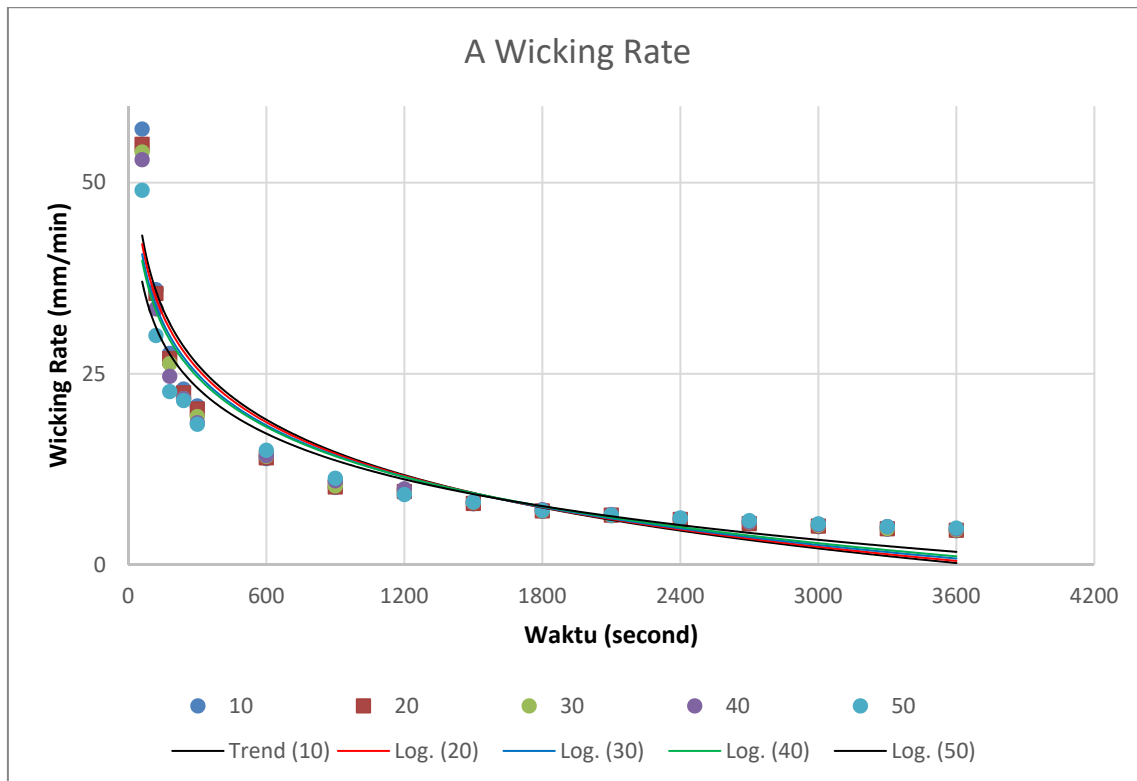


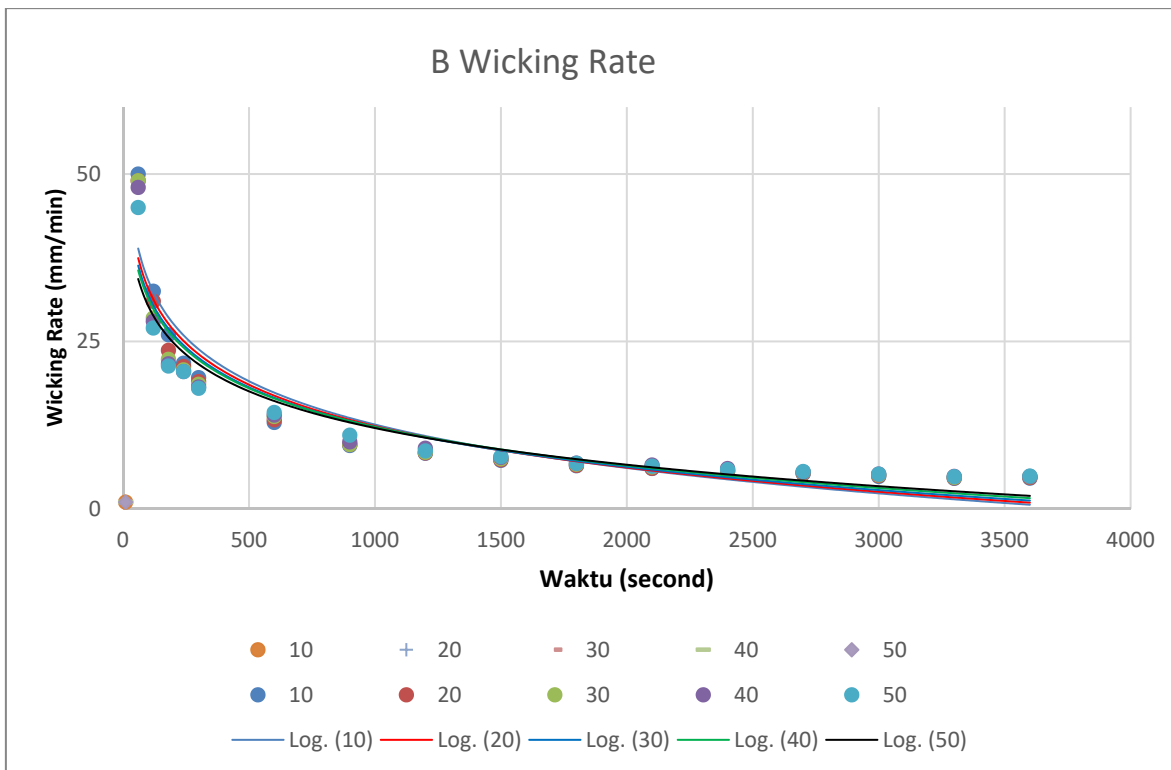




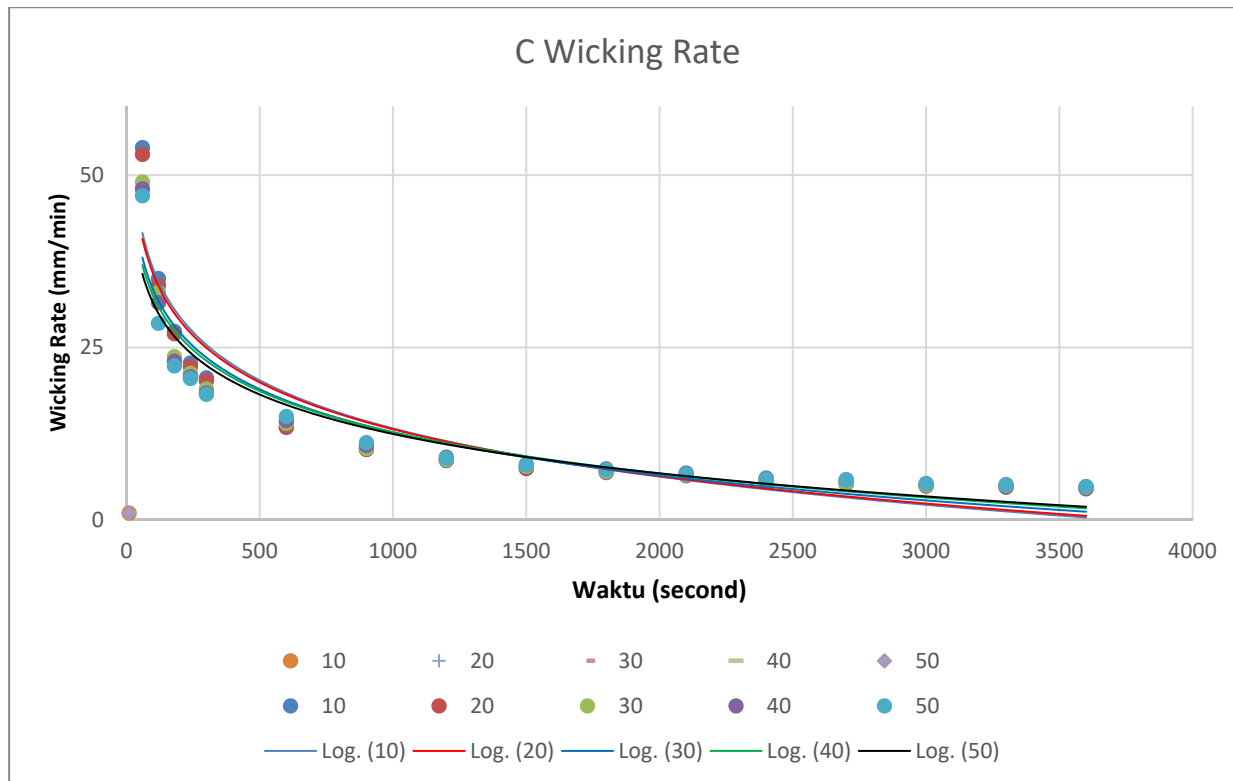


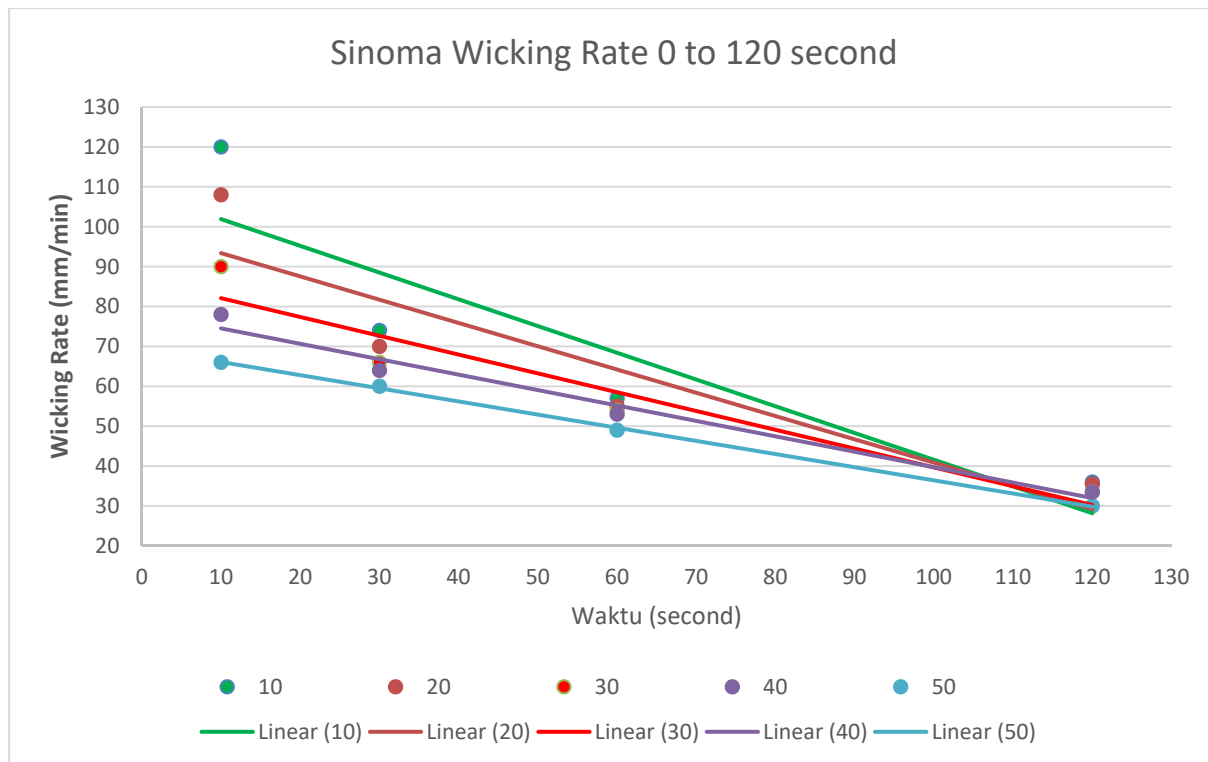


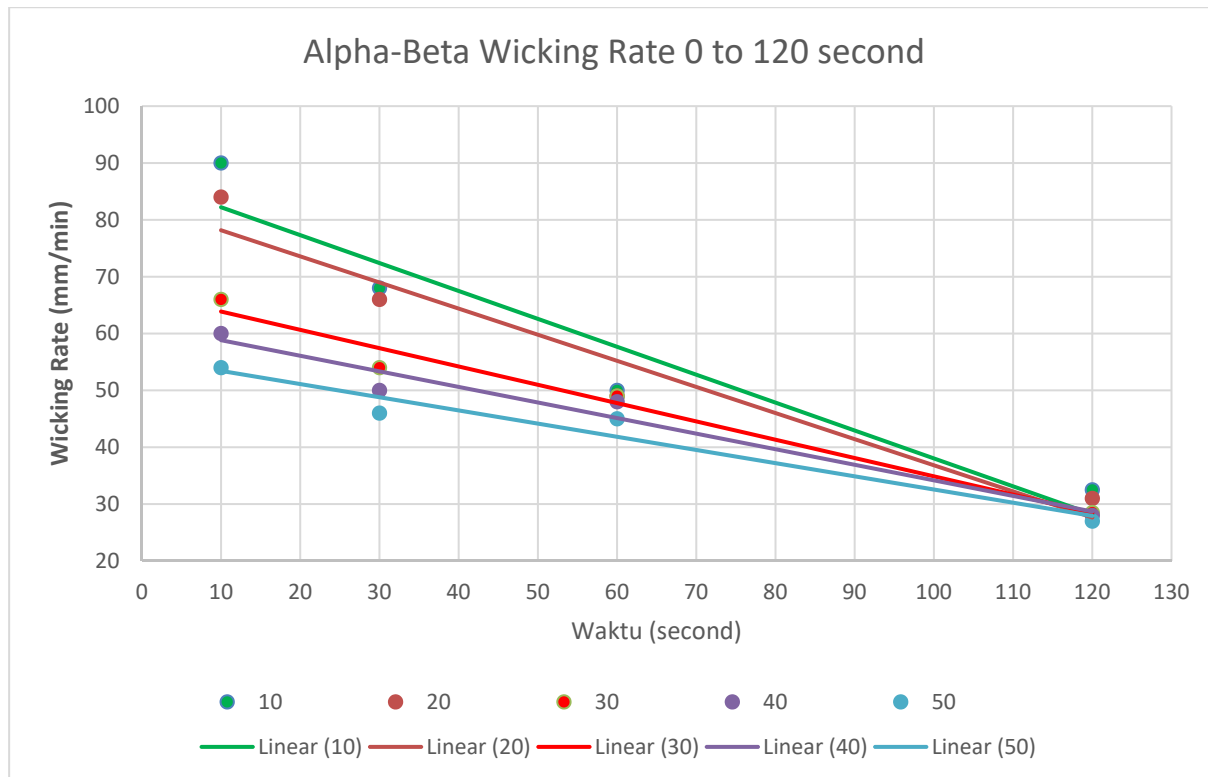


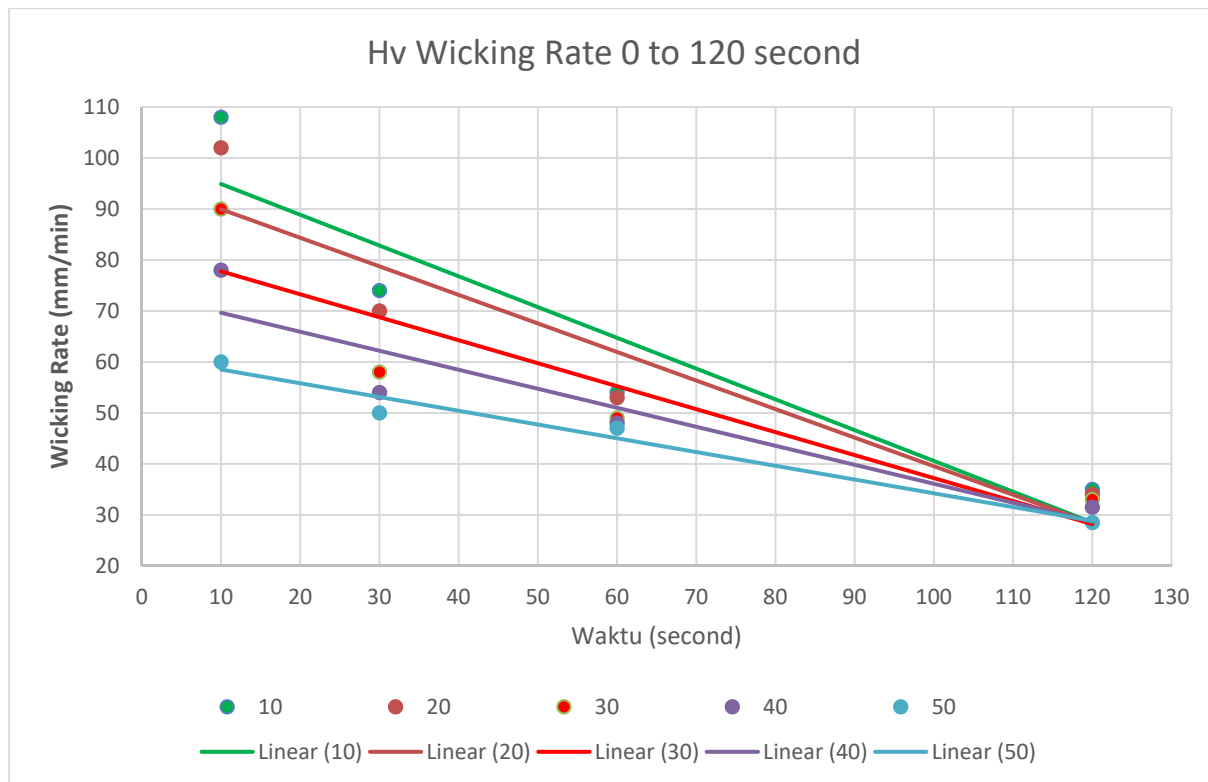












## TENTANG PENULIS



Adrian Bayu Bagaskara, lahir di Kota Bekasi 27 Desember 1994, merupakan anak kedua dari pasangan Bapak Agus Wondo Cahyono dan Ibu Mili Winarti. Penulis menempuh pendidikan di SD Islam Al-Azhar 9 Kemang Pratama Bekasi, kemudian melanjutkan sekolah ke SMP Islam Al-Azhar 8 Kemang Pratama Bekasi. Setelah tamat SMP, Penulis melanjutkan jenjang pendidikan di SMA Islam Al-Azhar 4 Kemang Pratama Bekasi. Setelah dinyatakan lulus dari SMA pada tahun 2013, penulis melanjutkan studi di salah satu perguruan tinggi terbaik di Indonesia, yaitu Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dan memperoleh gelar sarjana pada bulan Maret tahun 2018.

Ketika Kuliah, penulis mengambil bidang studi rekayasa sistem industri dengan tugas akhir dalam bidang analisa industri. Penulis memiliki pengalaman kerja praktek di PT. Toyota Motor Manufacturing Indonesia (TMMIN) dan akhirnya melakukan penelitian tugas akhir di PT. Indobatt Industri Permai. Penulis aktif dalam kegiatan akademik maupun organisasi kemahasiswaan. Organisasi kemahasiswaan yang pernah diikuti adalah Mesin Music Club (MMC) dibawah naungan Himpunan Mahasiswa Mesin (HMM) sebagai Kepala Divisi Inventarisasi dan Kepala divisi Internal Laboratorium Sistem Rekayasa Industri. Penulis dapat dihubungi melalui email berikut:

[adrianbayubagaskara@gmail.com](mailto:adrianbayubagaskara@gmail.com)